

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Юргинский технологический институт
Направление подготовки (специальность) 15.03.01 «Машиностроение», профиль
«Оборудование и технология сварочного производства»

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

Тема работы	
Исследование стабильности плавления и переноса электродного металла при РДС покрытыми электродами УОНИ-13/Мороз	

УДК 621.791.7.03

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-10A51	Кононенко Е.А.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ЮТИ	Ильященко Д.П.	К.Т.Н.		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ЮТИ	Ильященко Д.П.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ЮТИ	Полицинская Е.В.	К.П.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ЮТИ	Солодский С.А.	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП «Машиностроение»	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ЮТИ	Ильященко Д.П.	К.Т.Н.		

Юрга – 2020 г.

Планируемые результаты обучения по ООП

Код результатов	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
P1	Демонстрировать базовые естественнонаучные, математические знания, знания в области экономических и гуманитарных наук, а также понимание научных принципов, лежащих в основе профессиональной деятельности.
P2	Применять базовые и специальные знания в области математических, естественных, гуманитарных и экономических наук в комплексной инженерной деятельности на основе целостной системы научных знаний об окружающем мире.
P3	Применять базовые и специальные знания в области современных информационных технологий для решения задач хранения и переработки информации, коммуникативных задач и задач автоматизации инженерной деятельности.
P4	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды, демонстрируя навыки руководства отдельными группами исполнителей, в том числе над междисциплинарными проектами, уметь проявлять личную ответственность, приверженность профессиональной этике и нормам ведения профессиональной деятельности.
P5	Демонстрировать знание правовых, социальных, экологических и культурных аспектов комплексной инженерной деятельности, знания в вопросах охраны здоровья, безопасности жизнедеятельности и труда на предприятиях машиностроения и смежных отраслей.
P6	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, в том числе на иностранном языке; анализировать существующую и разрабатывать самостоятельно техническую документацию; четко излагать и защищать результаты комплексной инженерной деятельности на производственных предприятиях и в отраслевых научных организациях.
P7	Использовать законы естественнонаучных дисциплин и математический аппарат в теоретических и экспериментальных исследованиях объектов, процессов и явлений в машиностроении, при производстве иных металлоконструкций и узлов, в том числе с целью их моделирования с использованием математических пакетов прикладных программ и средств автоматизации инженерной деятельности.
P8	Обеспечивать соблюдение технологической дисциплины при изготовлении изделий машиностроения, металлоконструкций и узлов для нефтегазодобывающей отрасли, горного машиностроения и топливно-энергетического комплекса, а также опасных технических объектов и устройств, осваивать новые технологические процессы производства продукции, применять методы контроля качества новых образцов изделий, их узлов и деталей.
P9	Осваивать внедряемые технологии и оборудование, проверять техническое состояние и остаточный ресурс действующего технологического оборудования, обеспечивать ремонтно-восстановительные работы на производственных участках предприятия.
P10	Проводить эксперименты и испытания по определению физико-механических свойств и технологических показателей используемых материалов и готовых изделий, в том числе с использованием способов неразрушающего контроля.

Код результатов	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
P11	Проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных решений, выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда, применять прогрессивные методы эксплуатации технологического оборудования при изготовлении изделий машиностроения, иных металлоконструкций и узлов.
P12	Проектировать изделия машиностроения, опасные технические устройства и объекты и технологические процессы их изготовления, а также средства технологического оснащения, оформлять проектную и технологическую документацию в соответствии с требованиями нормативных документов, в том числе с использованием средств автоматизированного проектирования и с учетом требований ресурсоэффективности, производительности и безопасности.
P13	Составлять техническую документацию, выполнять работы по стандартизации, технической подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов, организовывать метрологическое обеспечение технологических процессов, подготавливать документацию для создания системы менеджмента качества на предприятии.
P14	Непрерывно самостоятельно повышать собственную квалификацию, участвовать в работе над инновационными проектами, используя базовые методы исследовательской деятельности, основанные на систематическом изучении научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта, проведении патентных исследований.

Студент гр. 3-10А51

Е.А. Кононенко

Руководитель ВКР

Д.П. Ильященко

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Юргинский технологический институт
Направление подготовки (специальность) 15.03.01 «Машиностроение», профиль
«Оборудование и технология сварочного производства»

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП «Машиностроение»

(Подпись) Д.П. Ильященко
(Ф.И.О.) (Дата)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Дипломный проект

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
3-10A51	Кононенко Евгению Анатольевичу

Тема работы:

Исследование стабильности плавления и переноса электродного металла при РДС покрытыми электродами УОНИ-13/Мороз	
Утверждена приказом проректора-директора (директора) (дата, номер)	31.01.2020 г. №7/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Материалы преддипломной практики
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)		
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)		
Раздел	Консультант	
Технологическая и конструкторская часть	Ильященко Д.П.	
Социальная ответственность	Солодский С. А.	
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Полицинская Е.В.	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ЮТИ	Ильященко Д.П.	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-10А51	Кононенко Е. А.		

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Юргинский технологический институт

Направление подготовки (специальность) 15.03.01 «Машиностроение»,
профиль «Оборудование и технология сварочного производства»

Период выполнения (осенний / весенний семестр 2019 – 2020 учебного
года)

Форма представления работы:

Дипломный проект

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ – ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля)/ Вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
17.01.2019	Обзор литературы	20
17.02.2019	Объекты и методы исследования	20
17.03.2019	Расчеты и аналитика	20
17.04.2019	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
20.05.2019	Социальная ответственность	20

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ЮТИ	Ильященко Д.П.	К.Т.Н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП Машиностроение	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ЮТИ	Ильященко Д.П.	К.Т.Н.		

Юрга – 2020 г.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-10A51	Е.А. Кононенко

Институт	Юргинский технологический институт		
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.01 Машиностроение

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

Исследование стабильности плавления и переноса электродного металла при РДС покрытыми электродами УОНИ-13/Мороз

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Расчёт стоимости электроэнергии

2. Определение затрат на основные материалы

3. Определение затрат на вспомогательные материалы

4. Определение стоимости сварного соединения

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Основные показатели эффективности ИР (технико-экономические показатели проекта)

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ЮТИ	Полицинская Е.В.	К.П.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-10A51	Е.А. Кононенко		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-10A51	Е.А. Кононенко

Институт	Юргинский технологический институт		
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.01 Машиностроение

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Описание технологического процесса, проектирование оснастки и участка сборки-сварки бесстыкового пути на предмет возникновения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) – опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) – негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера) 	<ul style="list-style-type: none"> - вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения); - опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы); - негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу); - чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера).
---	--

2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – <i>физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</i> – <i>действие фактора на организм человека;</i> – <i>приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</i> – <i>предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)</i> 	<p>Действие выявленных вредных факторов на организм человека. Допустимые нормы (согласно нормативно-технической документации). Разработка коллективных и рекомендации по использованию индивидуальных средств защиты.</p>
<p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); <ul style="list-style-type: none"> – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения) 	<p>Источники и средства защиты от существующих на рабочем месте опасных факторов (электробезопасность, термические опасности и т.д.). Пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).</p>

3. Охрана окружающей среды: – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	Вредные выбросы в атмосферу.
4. Защита в чрезвычайных ситуациях: – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий	Перечень наиболее возможных ЧС на объекте.
5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.
Перечень графического материала:	
При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)	Система вентиляции участка

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ЮТИ	Солодский С. А.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-10A51	Е.А. Кононенко		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 88 страниц, 17 рисунков, 8 таблиц, 79 источников, 5 приложений и 1 презентацию.

Актуальность работы: в данной выпускной квалификационной работе производится исследование стабильности плавления и переноса электродного металла при РДС покрытыми электродами УОНИ-13/Мороз, в результате данной работы следует: повысить стабильность процесса РДС покрытыми электродами марки УОНИ13/Мороз.

Целью работы является:

1. Определить параметры характеризующие стабильность процесса сварки;
2. Провести серию экспериментов для получения первичных данных о стабильности процесса сварки при РДС покрытыми электродами Уони 13/Мороз;
3. Привести теоретические расчеты для переносимых капель расплавленного электродного металла: геометрических параметров, теплосодержания и т.д.

ВКР выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2016 и КОМПАС–3D V16.

Abstrat

Final qualification work contains 88 pages, 17 drawings, 8 tables, 79 sources, 5 applications and 1 presentation.

Relevance of work: in this final qualification work the research of stability of melting and transfer of electrode metal at RDS is made by the covered electrodes UONI-13/Moroz, as a result of this work follows: to increase stability of process of RDS the covered electrodes of the UONI13/frost brand.

The purpose of work is:

1. To define the prametra characterizing stability of process of welding;
2. To make a series of experiments for obtaining primary data on stability of process of welding at RDS the covered Uoni's electrodes 13 / Moroz;
3. To give theoretical calculations for transferable drops of rasploavlenny electrode metal: geometrical parameters, heat content, etc.

VKR is executed in the Microsoft Word 2016 and KOMPAS-3D V16 text editor.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В настоящей работе применены следующие термины с соответствующими определениями.

Сварка — технологический процесс получения неразъёмного соединения посредством установления межатомных и межмолекулярных связей между свариваемыми частями изделия при их нагреве (местном или общем), и/или пластическом деформировании. При ручной дуговой сварке используют электрод с нанесённым на его поверхность покрытием (обмазкой).

Сварочный выпрямитель – устройство преобразующее энергию сетевого переменного тока в энергию постоянного сварочного тока.

Стабильность процесса сварки – стабильность горения дуги и стабильность (регулярность) переноса металла электрода в сварочную ванну. Динамическая характеристика источника питания - динамической характеристикой источника питания называется время, необходимое ему для восстановления напряжения от нуля в момент короткого замыкания до величины напряжения зажигания дуги.

Сварочный инвертор — это устройство, преобразующее постоянное напряжение в переменное.

В настоящей работе применены следующие обозначения и сокращения:

КЗ – короткое замыкание

СКО – среднеквадратичное отклонение

РДС (ММА) - ручная дуговая сварка штучными электродами с покрытием

Содержание

Введение	15
Цель и задачи исследования	16
1 Обзор литературы	16
1.1 Кинетика плавления и перенос электродного металла при РДС	
1.2 Физическая модель процесса каплепереноса расплавленного электродного металла РДС	18
2 Объект и методы исследования	21
2.1 Определение стабильности горения дуги при РДС	21
2.2 Методики определения параметров переносимых капель электродного металла при РДС	28
2.2.1 Косвенный метод определения параметров переносимых капель электродного металла при РДС	28
2.2.2. Определение размеров переносимых капель электродного металла по кинограммам с использованием систем моделирования и 3D-визуализации	30
2.3. Методика определения теплосодержания электродных капель при сварке	31
2.4 Методика определения ВАХ источника питания	32
2.5 Методика проведения исследований макрошлифов наплавленного металла шва	34
3 Результаты проведенного исследования	38
3.1 Стабильность процесса РДС при использовании источников питания различных типов	
3.2. Влияние типа источника РДС на параметры переносимых электродных капель	41
3.2.1 Теоретический расчет	
3.2.2 Определение параметров переносимых капель электродного металла с помощью систем моделирования и 3D-визуализации	42
3.3. Изменения теплосодержания переносимых электродных капель в зависимости от типа источника питания	44
3.4 Тип источника питания и ВАХ	45
3.5 Влияние динамических свойств источника питания на макроструктурные изменения в сварных соединениях	45
Заключение	64
Список литературы	65
Приложение А Результаты статической обработки параметров переноса капель электродного металла электродами УОНИ-13/мороз	73
Приложение Б Характеристики сварочного тока между электродом и изделием (электрод УОНИ-13/мороз, сталь 09Г2С)	75
Приложение В Характеристики напряжения между электродом и изделием (электрод УОНИ-13/мороз, сталь 09Г2С)	76

Приложение Г Среднестатистические расчетные данные массы и радиуса переносимых капель электродного металла (электрод УОНИ 13/Мороз)	78
Приложение Д Статистически обработанные экспериментальные данные размеров макрошлифов (электрод УОНИ-13/мороз, сталь 09Г2С)	80
Приложение Е Презентация	81

Введение

Сегодня к арктическим районам приковано пристальное внимание из-за огромных залежей нефти и газа, которые там находятся. По оценкам специалистов, целых 13% неиспользованных мировых запасов нефти и 30% запасов природного газа могут быть расположены в арктических районах. Крупнейшие проекты энергетической отрасли по строительству газораспределительных сетей основаны, главным образом, на стальных конструкциях и технологии сварки.

Сварка должна вестись при любой погоде. Например, нефтепроводы и газопроводы в Сибири должны быть построены через болота, которые трудно пересечь. Единственный сезон, когда там возможно вести сварочные работы – это зима, потому что земля должна быть достаточно замерзшей, чтобы поддерживать все необходимое оборудование.

«Наша страна находится в таких климатических условиях, что могут быть резкие перепады температур до минус 40 — минус 70 градусов, таким образом, тема хладостойкости сварных соединений актуальна. Самое главное — улучшение ударной вязкости (способность металла сопротивляться ударным нагрузкам).

На сегодняшний момент существует огромное количество огромное количество сварочного оборудования и материалов (один из них покрытые электроды УОНИ 13/Мороз) предназначенных для выполнения сварочных работ условиях низких температур и гарантирующие получения наплавленного металла, обладающего высокими пластическими свойствами.

Авторы: Макаренко В.Д, Горпенюк В.Н. в своих работах установили взаимосвязь между снижением размера переносимых капель электродного металла и бездефектному получению швов, повышению пластичности, а именно ударной вязкости при низких температурах.

Цель и задачи исследования

Цель работы:

1. Исследовать стабильность плавления и переноса электродного металла при РДС покрытыми электродами Уони 13/Мороз.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Определить параметры характеризующие стабильность процесса сварки;

2. Провести серию экспериментов для получения первичных данных о стабильности процесса сварки при РДС покрытыми электродами Уони 13/Мороз;

3. Привести теоретические расчеты для переносимых капель расплавленного электродного металла: геометрических параметров, теплосодержания и т.д.

1 Обзор литературы

1.1 Кинетика плавления и перенос электродного металла при РДС

Показатели технологического процесса сварки – стабильность горения дуги, потери металла на угар и разбрызгивание, возможность осуществлять сварку в различных пространственных положениях шва – находятся в зависимости от характера переноса электродного металла [1-6].

Исследованию кинетики плавления и переноса электродного металла при РДС посвящены работы авторов: А.А. Ерохина [7], А.Г. Мазеля [8], И.К. Походни [9], И.И. Зарубы [10], Р.И. Дедюха [11], Н.А. Азарова [12], С.П.

Шатило [13], S. Brandi [14], J.F. Lancaster [15,16] и других, которые [17–20] показали, что:

- основная часть сварочного электрода, около 85 %, переносится в сварочную ванну в виде капель расплавленного электродного металла, различного размера [21];
- размеры и форма капель, частота их переноса зависят от теплофизических свойств металла электрода, состава покрытия, толщины покрытия, диаметра электрода, режима сварки, полярности и соотношения сил, действующих на расплавленный металл электрода [22] на различных этапах плавления и переноса;
- от характера (размера переносимых капель) переноса металла зависит стабильность процесса сварки.

До настоящего времени учет сварочно технологических свойств источников питания и сварочных материалов (покрытых электродов) обеспечивается в строгом соответствии с требованиями ГОСТ 25616-83 и ГОСТ 9466-75. Однако в соответствии с указанными стандартами можно получить оценку качественного характера, путем подсчета количества набранных баллов - хорошо, удовлетворительно, плохо. Это не позволяет получить объективную информацию о преимуществах применяемых сварочных материалов или того или иного источника питания.

ГОСТ 9466-75 регламентирует сравнительно оценивать сварочно технологические свойства покрытых электродов по следующим параметрам:

- дуга должна легко возбуждаться и стабильно гореть;
- покрытие должно плавиться равномерно, без чрезмерного разбрызгивания, отваливания кусков и образования чехла или козырька, препятствующих нормальному плавлению электрода при сварке во всех пространственных положениях, рекомендованных для электродов данной марки;

- образующийся при сварке шлак должен обеспечивать правильное формирование валиков шва и легко удаляться после охлаждения;
- в металле шва, а также в металле, наплавленном предназначенными для сварки электродами, не должно быть трещин, надрывов и поверхностных пор;
- максимальные размеры и число внутренних пор и шлаковых включений в металле шва не должны превышать норм регламентированных ГОСТ 9466 - 75.

ГОСТ 25616-83 регламентирует сравнительно оценивать сварочно технологические свойства источников по следующим параметрам:

- начальное зажигание дуги;
- стабильность процесса сварки;
- разбрызгивание металла;
- формирования шва;
- эластичность дуги.

1.2 Физическая модель процесса каплепереноса расплавленного электродного металла РДС

Сварка неразрывный комплекс показана на рисунке 1.1 в результате, которого необходимо обеспечить равнопрочность основного металла и металла сварного шва и ЗТВ. Какими способами можно сделать? Для этого проанализируем физическую модели процесса РДС.

Процесс плавления электрода разделим на три этапа различающихся по температурным, геометрическим, гидродинамическим и физико-химическим характеристикам. Первый этап – начало плавления покрытого электрода 5. Длина дуги, сопротивление межэлектродного промежутка, напряжение дуги и потери энергии на излучение в окружающее пространство максимальны. Жидкий металл на торце электрода разогревается дугой, температура которой не менее 6000К, и удерживается на торце покрытого электрода поверхностным

натяжением, превышающим гравитационные силы, но постепенно уменьшающимся из-за повышения температуры металла и появления на нем шлаковой пленки (процент составляющих компонентов 7 и 8 может меняться от 0 до 100%). Во время нагрева происходят процессы: диссоциация компонентов покрытия электрода, испарение воды и взаимодействие шихтовых материалов в твердом состоянии [23]. При плавлении покрытого электрода образуются капли расплавленного жидкого металла.

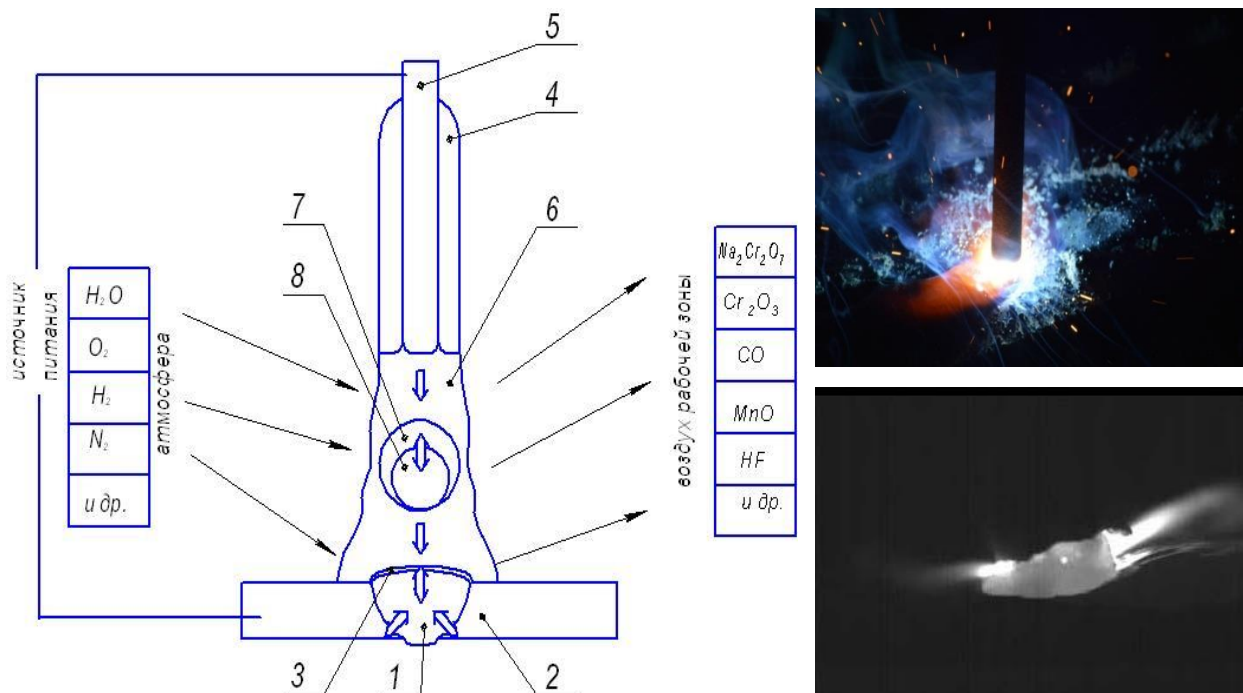


Рисунок 1.1 – Физическая модель процесса РДС: 1 – наплавленный металл; 2 – основной металл; 3 – шлаковая корка на поверхности сварного шва; 4 – обмазка (покрытие) электрода; 5 – металлический стержень электрода; 6 – газовая атмосфера; 7- шлаковая фаза капли; 8 – металлическая фаза капли

Второй этап – перенос расплавленного жидкого металла с торца электрода в сварочную ванну, происходит путем отрыва капель от электрода под действием сил пинч-эффекта или путем перетекания капли с образованием короткого замыкания дугового промежутка под действием сил тяжести. Авторами работ [24, 25] установлено, что химические реакции при сварке почти полностью заканчиваются на стадии формирования и переноса капли электродного металла, идет интенсивное взаимодействие расплавленного металла покрытого электрода в виде капель со шлаком и газом.

Третий этап – сварочная ванна. На этом этапе происходит взаимодействие капель расплавленного металла со шлаком и газом, с расплавленным металлом сварочной ванны и основным металлом рисунок 1.1.

Анализ физической модели (рисунок 1.1) процесса переноса капель электродного металла при РДС позволил установить, что повысить эксплуатационные характеристики наплавленного металла шва можно путем увеличения коэффициент перехода легирующих элементов из покрытых электродов, минимизировав потери легирующих элементов в шлаковую и газовую составляющую, через управляемое тепловое воздействие на химический состав капли электродного металла.

В работах Новожилова Н. М. [25] приводятся сведения, что удельная поверхность электродных капель примерно в 5-22 раза превышает удельную поверхность сварочной ванны, удельная же скорость окисления металла электродных капель примерно в 39 раз больше, чем удельная скорость окисления металла сварочной ванны. Следовательно, химическим составом металла сварного шва можно управлять путем энергитического воздействия на размеры переносимых капель, а соответственно и на химический состав капли электродного металла.

2 Объект и методы исследования

Исследования проводимые в рамках выполнения ВКР состояли из теоретических и экспериментальных. Теоретические исследования, в свою очередь, включали: статистическую обработку полученных экспериментальных данных, математический расчет размера переносимых электродных капель; определение теплосодержания электродных капель. Экспериментальные исследования состояли из серии экспериментов: осциллографирование тока в сварочной цепи и напряжения между электродом и изделием; определение протяженности зон сварного соединения в зависимости от параметров каплепереноса. Лабораторные исследования проводили для оценивания способов увеличения стабильности процесса РДС (покрытыми электродами УОНИ 13/Мороз), а именно рассмотрена стабильность процесса РДС при использовании источников питания (традиционные – диодный выпрямитель, высокочастотные – инвертор 1, инвертор 2, инвертор 3) преобразования энергии на повышение стабильности процесса и эксплуатационные свойства сварных соединений.

2.1 Определение стабильности горения дуги при РДС

Понятие «Стабильность горения дуги» (второе свойство по ГОСТ 25616-83), физический смысл которого, наиболее полно сформулирован Ю.Н. Ланкиным в статье [26]: «Процесс сварки, отклонение параметров которого от средних значений не превышает заданного уровня, называется стабильным. Мерой стабильности является отклонение параметра от своего среднего значения. В качестве отклонения параметра от среднего значения принимается его дисперсия, среднеквадратичное отклонение или коэффициент вариации».

Параметры режимов сварки плавящимся электродом (рисунок 2.1, 2.2),

такие как длительность короткого замыкания дугового промежутка ($\tau_{к.з.}$, мс), длительность цикла – период образования и переноса капли ($T_{к.з.}$, мс), значения тока (максимальное – I_{\max} и минимальное I_{\min} , А); скорость нарастания тока ($V_{\text{нарастания}} I_{\text{св}}$ и $V_{\text{спада}} I_{\text{св}}$, А/с), являются основными для оценки стабильности тепломассопереноса при дуговой сварке плавящимся электродом. При этом авторами работ [27–30] в качестве критериев стабильности предлагается выбирать среднеквадратичные отклонения длительностей короткого замыкания ($\sigma_{\tau_{к.з.}}$) и их частоты ($\sigma_{T_{к.з.}}$), а авторами работы [31] – среднеквадратичное отклонение амплитудного значения тока короткого замыкания ($\sigma_{I_{\text{св.мах}}}$) и коэффициенту вариации скорости нарастания тока короткого замыкания ($K_{V_{I_{\text{св.мах}}}}$).

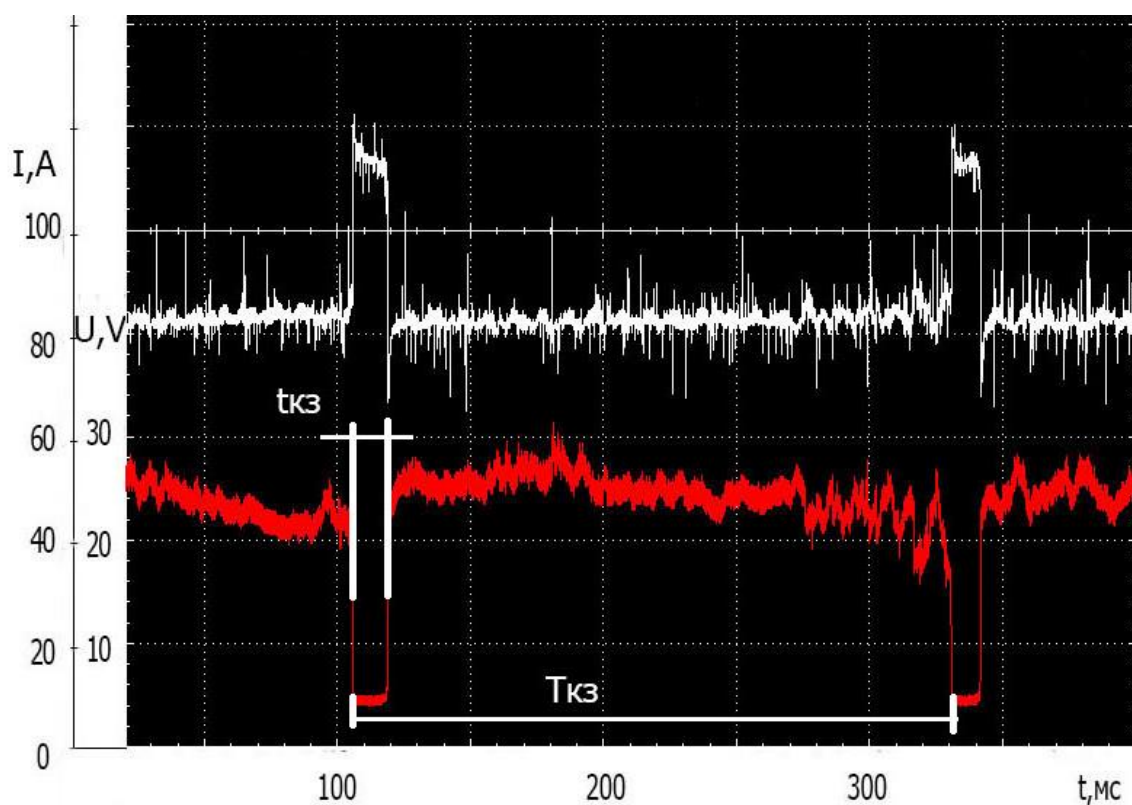


Рисунок 2.1 – Схема определения параметров каплепереноса электродного металла: $\tau_{к.з.}$ – длительность короткого замыкания дугового промежутка, мс; $T_{к.з.}$ – длительность цикла – период образования и переноса капли, мс

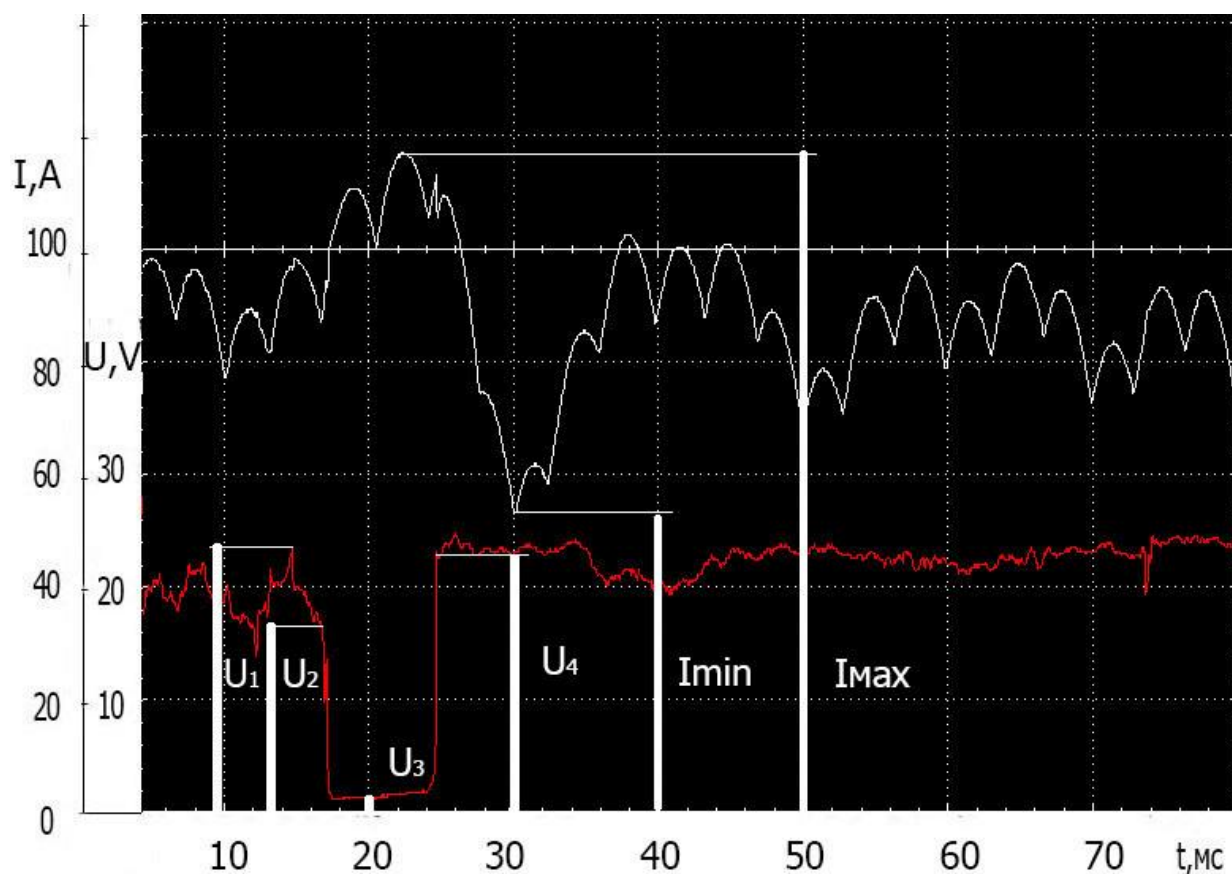


Рисунок 2.2 – Схема определения амплитудных значений параметров режима сварки: I_{max} – максимальное значение тока при КЗ, А; I_{min} – максимальное значение тока при КЗ, А; U_1 – напряжение перед зарождением капли, В; U_2 – напряжение перед КЗ, В; U_3 – напряжение в момент КЗ, В; U_4 – напряжение после КЗ, В

Оценку стабильности процесса сварки можно осуществлять с помощью обработки осциллограмм тока в сварочной цепи и напряжения между электродом и изделием от различных источников питания (рисунок 2.3), полученных с использованием электронного осциллографа АКИП-4122/10, дифференциального пробника Pintek Electronics DP-50, съемника электрического тока Current probe PR 1030 и программы для электронной обработки осциллограмм OWON_Oscilloscope_2.0.8.26 и высокоскоростной цифровой видеокамеры.

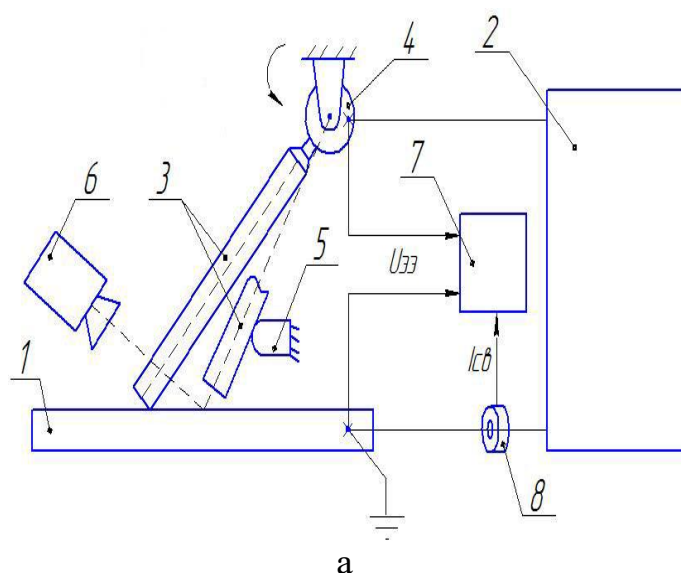


Рисунок 2.3 – Экспериментальная установка для высокоскоростной съемки и осциллографирования процесса сварки: а - схема установки; б - фотография установки; 1 – металлическая пластина; 2 – источник питания; 3 – покрытый электрод, 4 – вращающийся держатель электрода, 5 – ограничитель перемещения электрода, 6 – цифровая высокоскоростная видеокамера, 7 – электронный осциллограф, 8 – датчик тока

В качестве основных источников питания при сварке использовались: источник питания, изготовленный по классической схеме сварочного выпрямителя – типа ВД-306Э (диодный выпрямитель, рисунок 2.4., а) и источники питания инверторного типа: УРАЛ МАСТЕР СЕВЕР (инвертор 1, рисунок 2.4., б); Ресанта САИ 250 ПРОФ (инвертор 2, рисунок 2.4., в); Fubag INTIG 200 SYN PLUS (инвертор 3, рисунок 2.4., г).



Рисунок 2.4 – Внешний вид источников питания, используемых при проведении эксперимента: а –ВД-306; б –УРАЛ Мастер СЕВЕР; в – Ресанта САИ 250 ПРОФ; г – Fubag INTIG 200 SYN PLUS

Поскольку большинство параметров режима сварки являются случайными величинами, авторы работ [32-34] предлагают считать процесс сварки дискретным Марковским процессом с непрерывным временем. Точность результата измерений повышалась путем увеличения количества отсчетов одной и той же величины. В соответствии с ГОСТ 8.207–76 процедура обработки результатов таких измерений содержит следующие этапы, обработку будем производить в программе Excel:

- предотвращение появления систематических погрешностей и исключение грубых выбросов;
- вычисление среднеарифметических значений (см. рисунок 2.4):

$$x' = \frac{x_1 + \dots + x_n}{n}, \quad (2.1)$$

где $x_1 \dots x_n$ – результаты измерения величины, x' – среднее значение измеряемой величины;

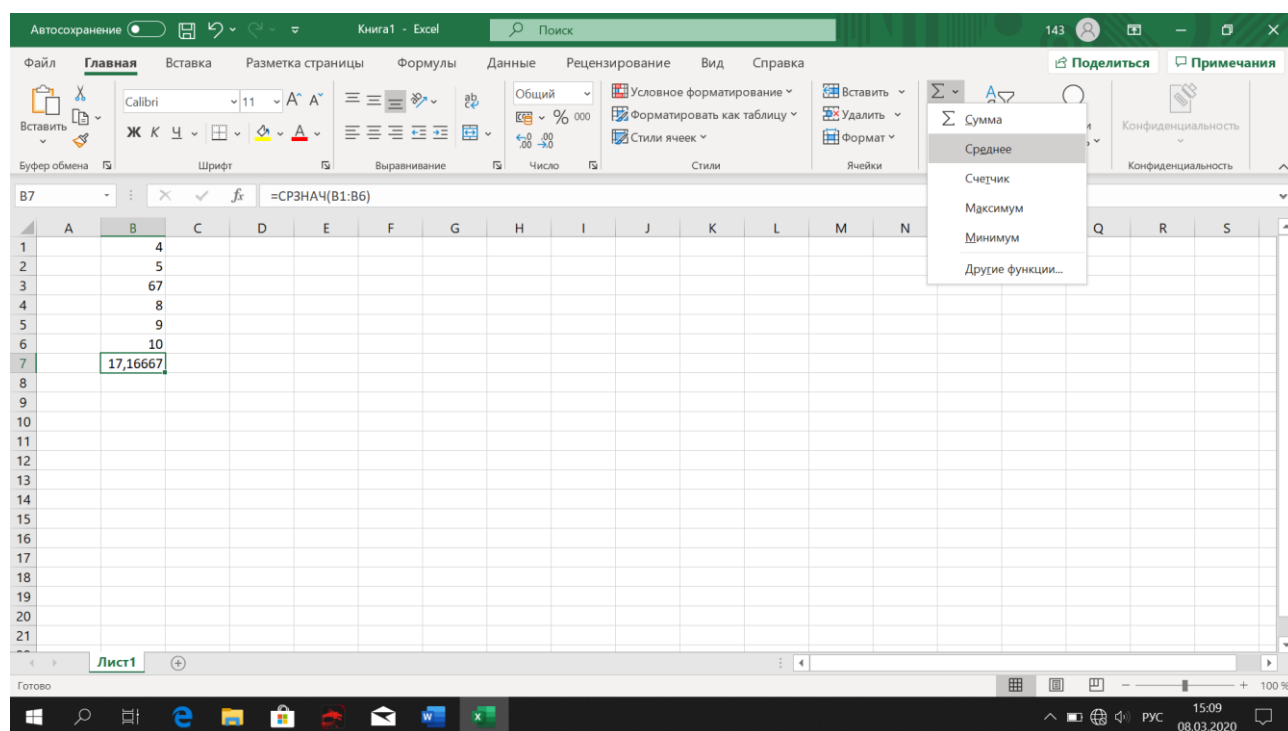


Рисунок 2.4 – Вычисление среднеарифметических значений экспериментальных данных в программе Excel

- вычисление среднеквадратичного отклонения (самый

распространенный критерий для оценки стабильности энергетических параметров режима): сварочного тока и напряжения, длительностей короткого замыкания дугового промежутка, длительностей полного цикла образования и переноса капли [35] (рисунок 2.5):

$$\sigma = \sqrt{\frac{(x_1 - x')^2 + \dots + (x_n - x')^2}{n}}, \quad (2.2)$$

где $x_1 \dots x_n$ – результаты измерения величины, x' – среднее значение измеряемой величины (формула 2.1, рисунок 2.4), n – число измерений;

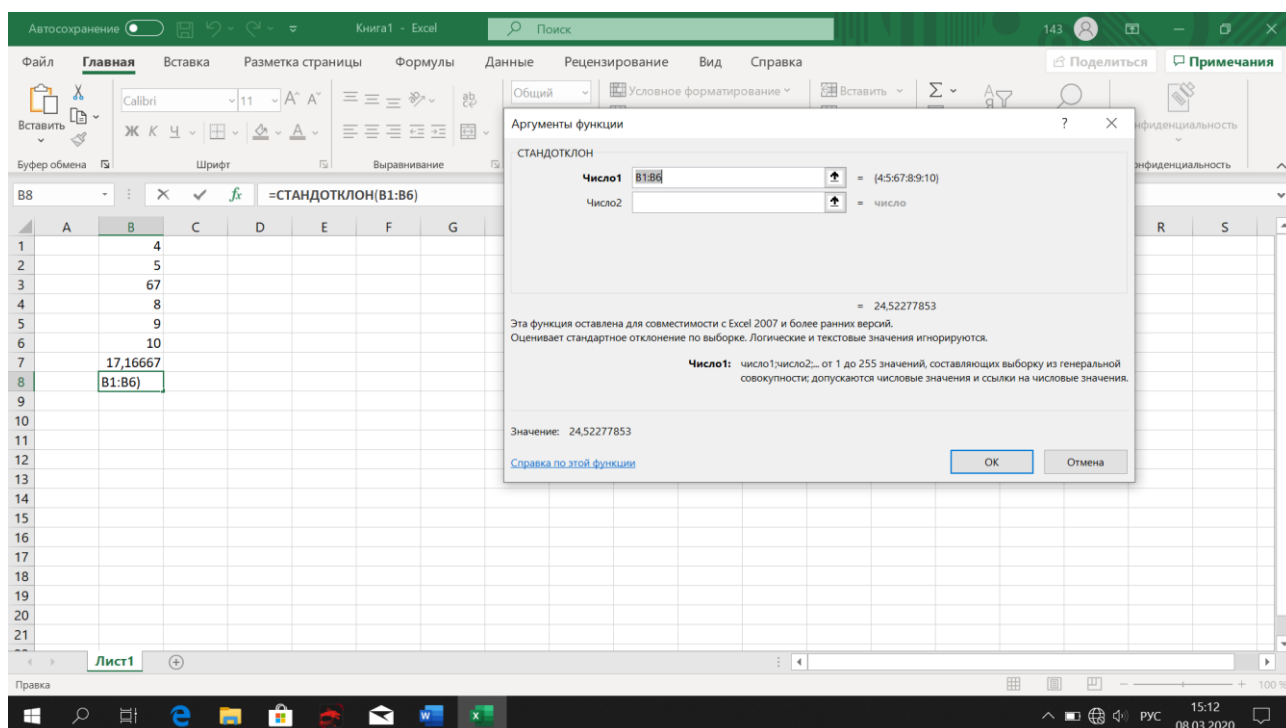


Рисунок 2.5 - Вычисление среднеквадратичного отклонения в программе Excel

- вычисление коэффициента вариации параметра K_v – относительный непосредственный критерий стабильности параметра (рисунок 2.6):

$$K_{vx} = \frac{\sigma}{x'}, \quad (2.3)$$

где K_{vx} – коэффициент вариации, σ – среднеквадратичное отклонение (формула 2.2), x' – среднее значение измеряемой величины (формула 2.1).

Встроенная функция в программе Excel определения параметра коэффициента вариации отсутствует, поэтому задаем ее формулой (рисунок 2.6).

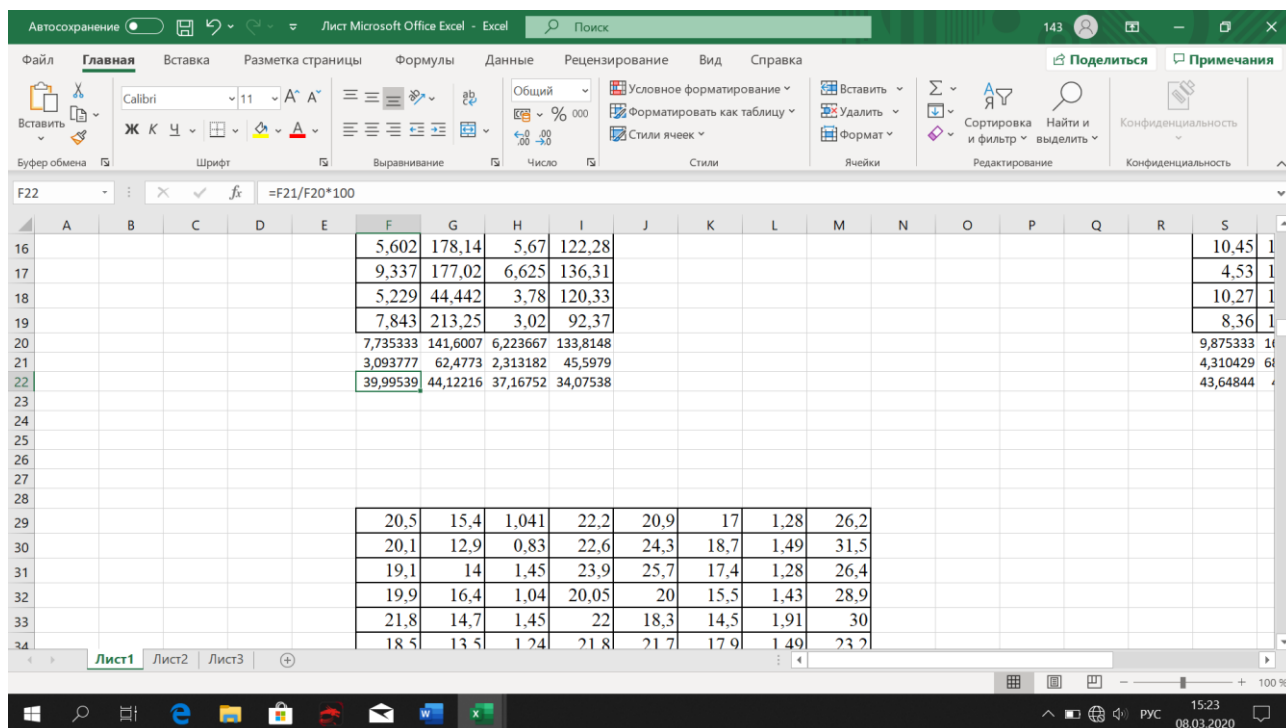


Рисунок 2.6 - Вычисление коэффициента вариации

2.2 Методики определения параметров переносимых капель электродного металла при РДС

Методы изучения переноса электродного металла [36] прямые: выделение и взвешивание капель и рентгено-кино-и видеосъемку и косвенный: осциллографирование тока и напряжения.

2.2.1 Косвенный метод определения параметров переносимых капель электродного металла при РДС

При изучении процесса переноса капель электродного металла принимают следующие допущения [37]: столб дуги неподвижен и соосен с электродом, а капля расплавленного металла имеет форму сегмента или шара. Приняв, что расплавленная капля на торце электрода имеет форму шарового

сегмента с основанием, равным сечению электрода, массу переносимой капли можно определить по формуле [55]

$$R = \sqrt[3]{\frac{-1}{27} \cdot \left(\frac{-\pi \cdot \gamma \cdot r_0^2}{4a \cdot \tau_{к.з.}^3 \cdot 10^3}\right)^3 + \left(\frac{-3a \cdot \tau_{к.з.}^3 \cdot 10^3}{8 \cdot \pi \cdot \gamma} + \frac{\pi \cdot \gamma \cdot r_0^2}{24 \cdot a \cdot \tau_{к.з.}^3 \cdot 10^3}\right) - \sqrt{\frac{2}{27} \left(\frac{-\pi \cdot \gamma \cdot r_0^2}{4a \cdot \tau_{к.з.}^3 \cdot 10^3}\right)^3 + \left(\frac{-3a \cdot \tau_{к.з.}^3 \cdot 10^3}{8 \cdot \pi \cdot \gamma} + \frac{\pi \cdot \gamma \cdot r_0^2}{24 \cdot a \cdot \tau_{к.з.}^3 \cdot 10^3}\right) \cdot \frac{1}{4} - \frac{1}{27^2} \cdot \left(\frac{-\pi \cdot \gamma \cdot r_0^2}{4a \cdot \tau_{к.з.}^3 \cdot 10^3}\right)^6}} + \frac{\pi \cdot \gamma \cdot r_0^2}{12a \cdot \tau_{к.з.}^3 \cdot 10^3}. \quad (2.6)$$

$$\text{где } c = \frac{-\pi \cdot \gamma \cdot r_0^2}{4a \cdot \tau_{к.з.}^3 \cdot 10^3}; \quad \epsilon = \frac{-3a \cdot \tau_{к.з.}^3 \cdot 10^3}{8 \cdot \pi \cdot \gamma};$$

$\tau_{к.з.}$ – время короткого замыкания при переходе капли с торца электрода в сварочную ванну, с;

a – коэффициент $0,33 \cdot 10^{-4}$ Г/с³;

π – математическая константа, равная отношению длины окружности к диаметру, иррациональное число $\pi \approx 3,14$;

γ – плотность жидкого металла, Г/мм³;

R – радиус кривизны поверхности капли, мм;

r_0 – радиус металлического электродного стержня, мм.

Анализ формулы (2.6) позволил установить, уменьшение времени короткого замыкания дугового промежутка капель расплавленного электродного металла способствует уменьшению радиуса этих капель, что согласуется с данными работы [56]: $D_k = 0,2\tau_k$.

Объем переносимой капли электродного металла, имеющей форму шарового сегмента с основанием, равным сечению электрода, можно определить по формуле [40] или онлайн расчет [41]:

$$V = [2R^3 + (2R^2 + r_0^2)\sqrt{R^2 - r_0^2}] \cdot 10^{-3}, \text{ мм}^3. \quad (2.7)$$

Площадь активной поверхности капли расплавленного электродного металла можно найти по формуле [42] онлайн расчет [43]:

$$S = 2\pi R((R - \sqrt{R^2 - r_0^2}) + r_0), \text{ мм}^2. \quad (2.8)$$

2.2.2. Определение размеров переносимых капель электродного металла по кинограммам с использованием систем моделирования и 3D-визуализации

Существуют различные математические модели для определения размеров капель электродного металла [44, 45], но все они приятны с различными допущениями: столб дуги неподвижен и соосен с электродом, а капля расплавленного металла имеет форму сегмента или шара и т.д., которые снижают достоверность их использования, использование современных расчетно-графических программ [46-48] позволяет производить расчеты с высокой степенью достоверностью и сокращает время обработки экспериментальных данных.

Построение геометрической модели жидкой капли расплавленного электродного металла производилось на основе кадров скоростной видеосъемки, проведенной ранее [49]. С целью упрощения моделирования было сделано допущение, что в любом сечении капли, плоскостью перпендикулярной оси электрода, получается окружность.

Методика определения размеров переносимых капель электродного металла по кинограммам с использованием систем моделирования и 3D-визуализации, выбрана программа «Kompas - 3D, версия 16», т.к. в ЮТИ ТПУ имеется лицензия на данный программный продукт:

- 1) изображение, полученное при скоростной видеосъемке, поместить в программу «Kompas - 3D, версия 16», где при помощи команды сплайн, получить контур жидкой капли;

- 2) на контур жидкой капли нанести линии, соответствующие положению будущих секущих плоскостей. При этом первоначально линии наносятся в местах изменения направления контура, затем с некоторым интервалом между ними;

3) по полученному изображению определить диаметры окружностей сечений и положение центра окружности относительно оси, совпадающей с осью электрода;

4) моделирование объёма капли, произвести в режиме трёхмерного моделирования в приложении «Kompas - 3D, версия 16». Для этого необходимо построить ряд параллельных плоскостей (их положение было определено в пункте 2, данной методики) в которых, строились сечения капли (по размерам, определённым в пункте 3, данной методики). Далее при помощи функции «По сечениям» строим объёмное тело, соответствующее форме жидкой капли;

5) производились измерения при помощи предоставляемых «Kompas - 3D, Версия 16» возможностей, таких как: объём, масса, положение центра масс, площадь поверхности и т.д.

2.3. Методика определения теплосодержания электродных капель при сварке

Температура капель электродного покрытия до настоящего времени измерялась двумя методами: калориметрированием [7, 50-56] и микропирометрией [57]. Калориметрирование использовалось для определения средней температуры капель при дуговой сварке металлическими стержнями и электродами с тонким покрытием [7, 50-53], а также при газоэлектрической сварке [54, 55]. Микропирометр был применен для определения температуры поверхности капель при сварке в аргоне [56]. Пентар [56] указывает на небольшую точность этого метода. Оба метода непригодны для исследования температуры капель электродов с нормальной и увеличенной толщиной покрытия, так как большое количество шлака, попадающего в калориметр, не позволяет с достаточной точностью определить теплосодержание металла. Наличие втулки из покрытия на конце электрода не дает возможность применить метод пирометрии. Авторы [57] статьи разработали метод который

позволяет определять Температуру капель электродного металла при дуговой сварке толстопокрытыми электродами, однако в виду огрaичиности времени на выполнение ВКР, мы оценим теплосодержание капель электродного металла только с помощью расчетного метода используя экспериментальные данные осциллографирования тока и напряжения.

Теоретический расчет энергии, вложенной в каплю электродного металла в зависимости от энергетических характеристик источника питания, можно осуществить, используя данные осциллографирования дугового промежутка [38].

Количество теплоты, потраченной на нагрев, плавление и перенос капли электродного металла, можно оценить, произведя расчет температуры перегрева капель при их переходе через дуговой промежуток с короткими замыканиями по формуле [58]:

$$\Delta T_k = \frac{1}{c} \left(\frac{q_1}{a \cdot \tau_{к.з}^2} - \frac{1}{K} \right), \quad (2.9)$$

где ΔT_k – превышение средней температуры жидкого металла на электроде над температурой плавления, $^{\circ}\text{C}$; c – средняя теплоемкость жидкого металла, $\text{Дж/г}^{\circ}\text{C}$, $c = 0,84 \text{ Дж/г}^{\circ}\text{C}$; q_1 – тепловая мощность дуги на торце электрода, Дж/с ; K – коэффициент, характеризующий массу металла, которая может быть расплавлена единичной энергией, г/Дж , $K = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ г/Дж}$; $\tau_{к.з}$ – время пребывания капли на торце электрода, с ; a – коэффициент $0,33 \cdot 10^{-1} \text{ г/с}^3$.

Изменением теплосодержания капель электродного металла можно: управлять и контролировать тепловложением в свариваемое изделие, используя источники питания реализующие различные методы преобразования энергии (импульсное питание и т.д) или менять полярность при сварке; использовать в качестве входных параметров для математических моделей для прогнозирования эксплуатационных свойств наплавленного металла.

2.4 Методика определения ВАХ источника питания

Различные ВАХ, выдаваемые источниками питания, оказывает влияние на стабильность процесса РДС. В процессе выполнения ВКР необходимо получить ВАХ от источников питания для получения полной картины экспериментальных данных, по следующей методике:

а) в качестве нагрузки использовать балластный реостат типа РБ – 302 (схема подключения балластного реостата к трансформатору показана на рисунке 2.7), заменяя сварочную цепь для снятия показаний приборов;

б) переключатель диапазонов токов РБ-302 устанавливается на малые токи, рассеивание – минимальное. Напряжение холостого хода снимается при отключенной нагрузке, затем производится включение ножей балластного реостата по предложенной до короткого замыкания. Переключение ножей балластного реостата производится при отключенном выпрямителе. После этого увеличивается магнитное рассеивание, и процесс повторяется и т.д. Затем измерения проводятся на диапазоне больших токов;

в) для снятия регулировочных характеристик трансформатора необходимо замерить изменение расстояния между обмотками по перемещению стрелки на шкале тока. Затем установить на балластном реостате положение ножей равное 100 и провести измерения сначала в диапазоне малых токов, затем в диапазоне больших токов.

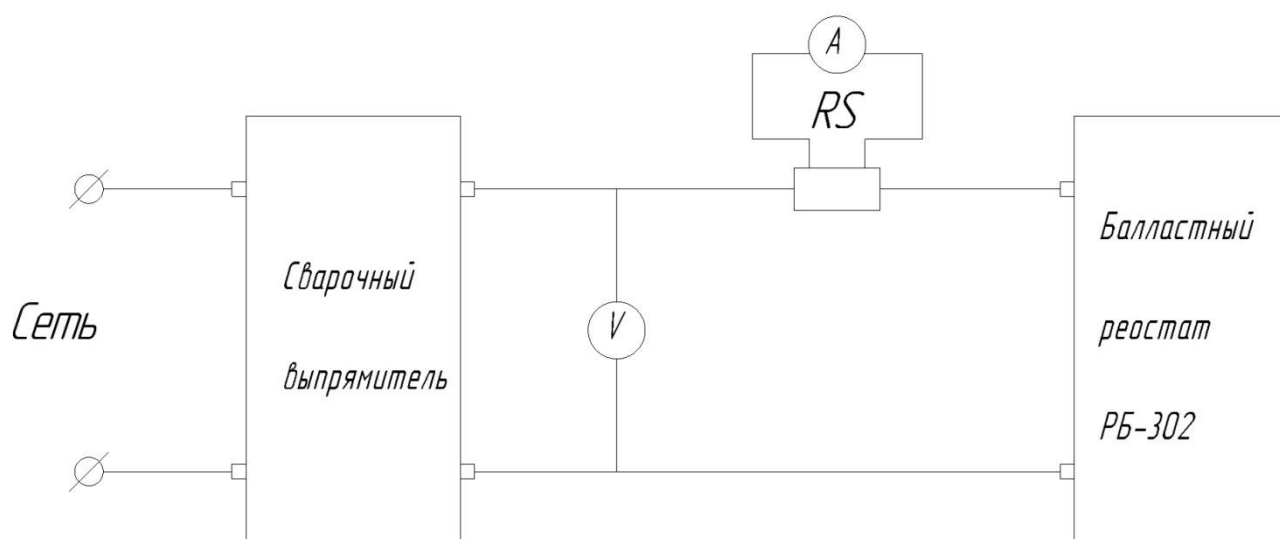


Рисунок 2.7 – Схема подключения нагрузки и приборов для снятия ВАХ от используемых источников применяемых при эксперименте

2.5 Методика проведения исследований макрошлифов наплавленного металла шва

Для проведения исследований макрошлифов были подготовлены образцы (сталь 09Г2С, покрытые электроды УОНИ 13/МОРОЗ, диаметр 3 мм, режимы сварки: корень шва $I_{св}=60-70A$, заполнение и облицовка $I_{св}=80-100A$) далее про материалы по схеме, представленной на рисунках 2.8 и 2.9.

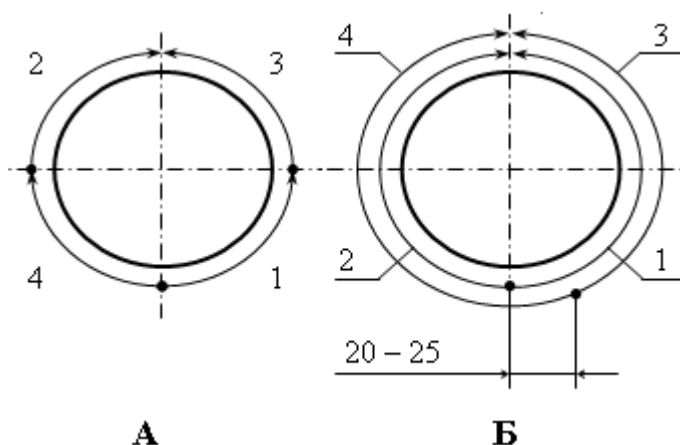


Рисунок 2.8 – Порядок сварки неповоротного кольцевого стыка одним сварщиком: А – корневой слой шва вертикального стыка; Б – второй и последующие слои шва вертикального стыка; 1; 2; 3; 4 – последовательность выполнения участков и слоев (РД-25.160.00-КТН-011-10)

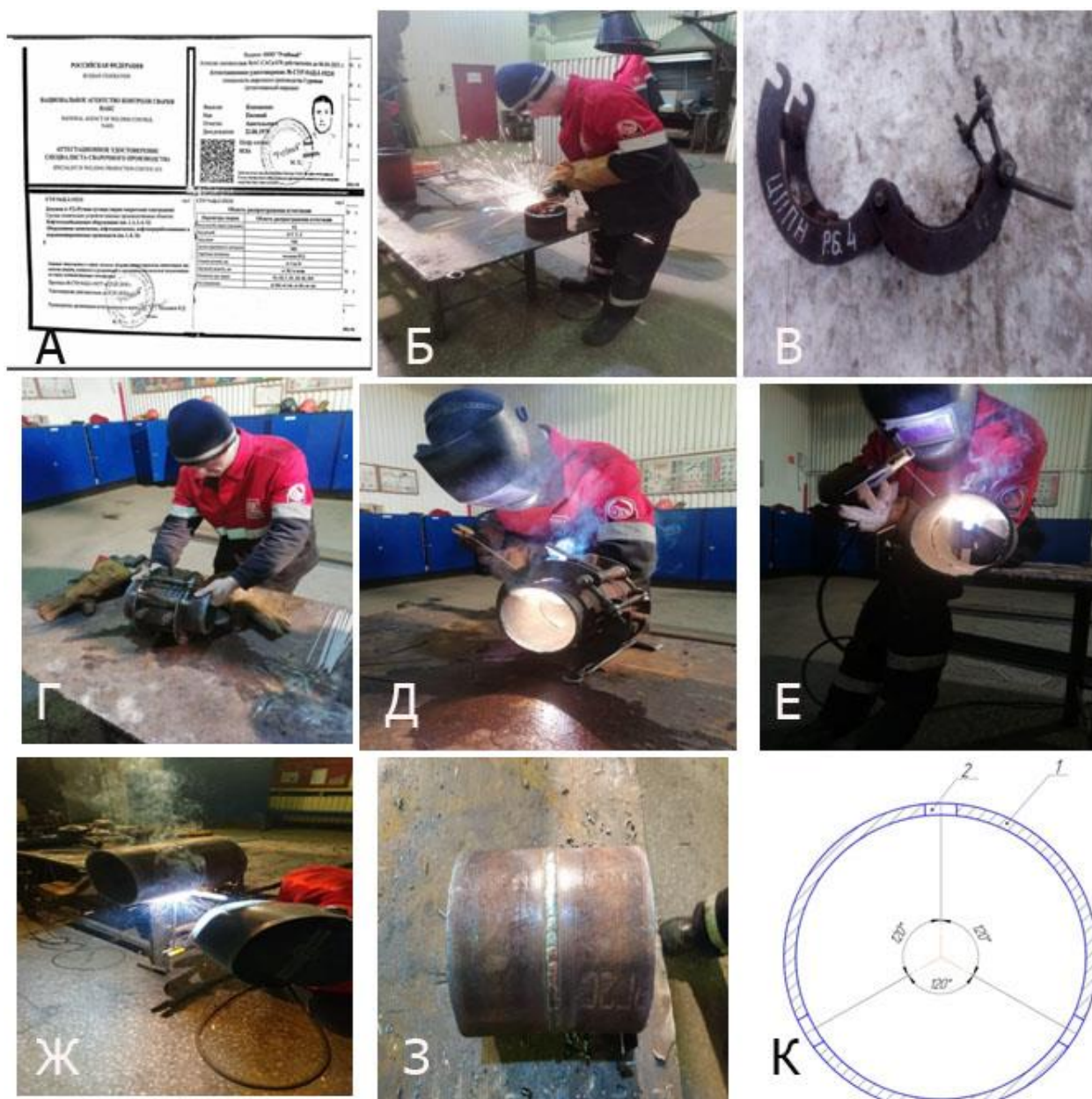


Рисунок 2.9 – Этапы подготовки образцов для проведения исследования макрошлифов: а – квалификационное удостоверение НАКС сварщика; б – подготовка кромок под сварку; в – внешний вид центратора; г – сборка сварного соединения в центраторе; д – выполнение прихваток; е – сварка корневого шва; ж – сварка заполняющего и облицовочного шва; з – внешний вид заваренных катушек; к - схема вырезки образцов из трубы (материал 09Г2С) для проведения механических испытаний: 1 – изделие; 2 – вырезанный образец

Макрошлифы получали вырезкой из сваренных между собой катушек (рисунок 2.9.) по свареных по схеме (рисунок 2.8). Обработка макрошлифов

проводилась по следующей методике [59]. Оценка качества макрошлифов, полученных из сварного соединения, производилась оценкой показателей, приведенных на рисунке 2.10. В качестве компьютерного продукта выбрана программа «Компас 3D-V16» фирмы «АСКОН», так как это постоянно совершенствующая система автоматизированного проектирования, максимально настроенная под российские стандарты, а также предъявляет минимальные требования к компьютеру, быстро устанавливается и отличается высокой эффективностью и производительностью.

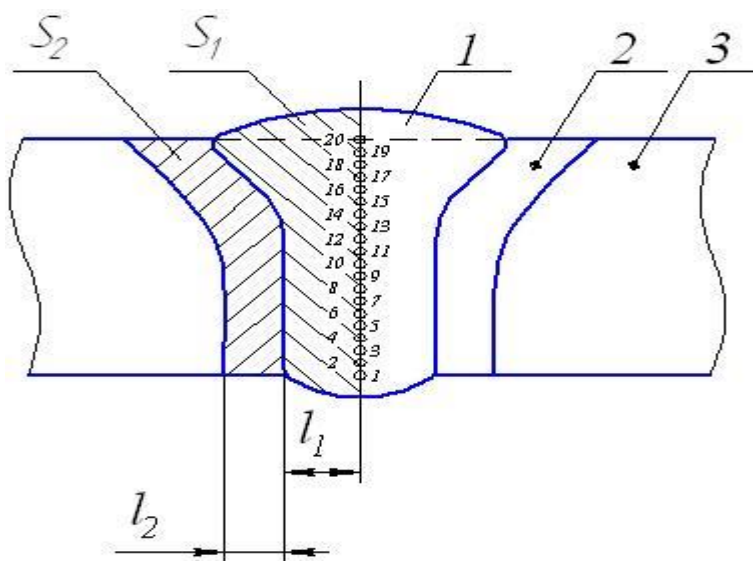


Рисунок 2.10 – Схема проведения замеров (шаг между точками 0,5 мм):

1 – сварной шов; 2 – зона термического влияния; 3 – основной металл; l_1 – длина сварного шва; l_2 – ширина ЗТВ; S_1 – площадь сварного шва; S_2 – площадь ЗТВ

Макрошлифы сварных швов (рисунок 2.9) сканировали, затем их изображения увеличивали 10-кратно, что позволяло получить значения с большей степенью точности. Увеличенные изображения макрошлифов размещали на листе программы «Компас - 3D, Версия 16». С помощью вспомогательных линий фото образцов выставляли по одной линии и проводили перпендикулярные линии в местах нахождения кромок сварных соединений. Слой с изображениями фиксировали, затем накладывали новый слой и измеряли размеры. Для этого обрисовывали форму сварных швов и линии сварных кромок, используя стандартные инструменты. Затем определяли

площадь и ширину шва и ЗТВ. Используя инструмент, «информация» и выбрав начало координат, снимали значения точек кривой линии, описывающей контур сварного шва.

3 Результаты проведенного исследования

3.1 Стабильность процесса РДС при использовании источников питания различных типов

В соответствии с вышеупомянутой методикой 2.1, были проведены исследования по изучению влияния скорости изменения основных энергетических параметров в пределах отдельных сварочных микроциклов сварки, реализуемых от источников питания с различными формами преобразования энергии, на стабильность процесса наплавки в соответствии с параметрами режима, приведенными в таблице 1.

Таблица 3.1 - Параметры режимов экспериментальной наплавки

Источник питания	Марка электродов	Средние значения параметров режима наплавки, записанные с применением осциллографа АКИП-4122/10
Диодный выпрямитель	Уони 13/Мороз	$I_{св.ср.} = (87,9 \pm 2,7) \text{ A}$; $U_{св.ср.} = (20,5 \pm 0,4) \text{ В}$; $V_{св.ср.} = 0,25 \text{ m/min}$
Инвертор 1		$I_{св.ср.} = (86,3 \pm 2,7) \text{ A}$; $U_{св.ср.} = (21,9 \pm 0,7) \text{ В}$; $V_{св.ср.} = 0,25 \text{ m/min}$
Инвертор 2		$I_{св.ср.} = (84,8 \pm 3,1) \text{ A}$; $U_{св.ср.} = (19,8 \pm 0,3) \text{ В}$; $V_{св.ср.} = 0,25 \text{ m/min}$
Инвертор 3		$I_{св.ср.} = (85,8 \pm 2,4) \text{ A}$; $U_{св.ср.} = (20,8 \pm 0,4) \text{ В}$; $V_{св.ср.} = 0,25 \text{ m/min}$

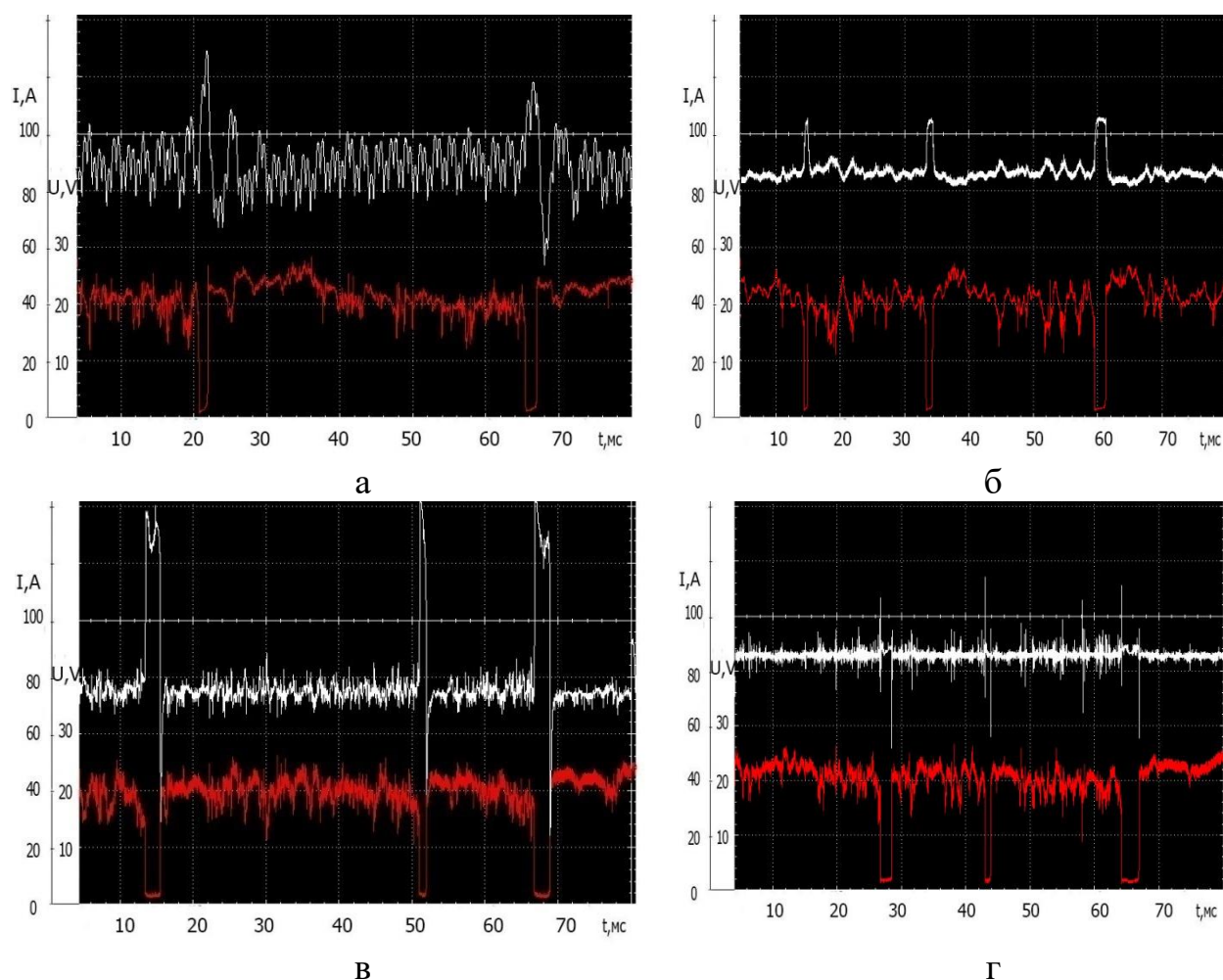


Рисунок 3.1 – Осциллограммы тока в сварочной цепи и напряжения между электродом и изделием (электроды марки уони 13/Мороз, диаметром 3 мм): а – диодный выпрямитель; б – инвертор 1; в - инвертор 2; г - инвертор 3

Различные картины изменения тока в сварочной цепи и напряжения между электродом и изделием, представленные на рисунке 3.1 можно объяснить с позиций более высоких качественных показателей выпрямленного напряжения. Частота преобразования у источника инверторного питания достигает до 200 кГц, в то время как у диодного выпрямителя – до 300 Гц, что оказывает влияние на коэффициент пульсации напряжения у инверторного выпрямителя, который достигает 25 %, а у традиционного диодного выпрямителя – 65 % [38].

Осциллограммы тока и напряжения в сварочной цепи (рисунок 3.1), при использовании источников питания с различной формой преобразования

энергии, были проанализированы (рисунок 2.1, 2.2) и статистически обработаны (приложения А, Б), представлены в таблицах 3.2 и 3.3.

Таблица 3.2 - Результаты статистической обработки осциллограмм тока и напряжения, записанных при осуществлении технологических исследований (приложения А,Б, таблицы А.1, А.2, Б.1, Б.2)

Тип источника питания	Определяемый параметр (рисунок 2.1)				
	$T_{кз}, мс \pm \sigma_{кз}, мс$	$T_{кз}, мс \pm \sigma_{T_{кз}}, мс$	$I_{max}, А$	$I_{min}, А$	$\frac{I_{св.ср.}}{I_{кз}} \rightarrow 1$
Диодный выпрямитель	7,73±3,09	141,6±62,47	124,53±6,3 2	64,15±7, 5	0,71
Инвертор 1	6,22±2,31	133,8±45,59	106,13±0,5 1	82,95±1, 6	0,81
Инвертор 2	9,87±4,31	169,99±68,6	140,93±3,9 9	31,45±5, 7	0,6
Инвертор 3	7,88±2,85	131,62±51,81	96,68±1,52	78,85±2, 4	0,88

Таблица 3.3 - Результаты статистической обработки осциллограмм тока и напряжения, записанных при осуществлении технологических исследований (приложение В, таблицы В.1, В.2)

Тип источника питания	Определяемый параметр (рисунок 2.2)			
	$U_1, В$	$U_2, В$	$U_3, В$	$U_4, В$
Диодный выпрямитель	20,93±1,81	15,56±1,65	1,25±0,19	22,48±1,21
Инвертор 1	22,09±2,56	16,96±1,33	1,4±0,22	25,71±3,65
Инвертор 2	21,77±1,68	16,94±0,94	1,40±0,25	25,17±3,89

Инвертор 3	21,42±1,42	17,29±1,29	1,43±0,19	24,23±2,54
------------	------------	------------	-----------	------------

Полученные осциллограммы тока в сварочной цепи и напряжения между электродом и изделием (рисунок 3.1, таблицы 3.1-3.3) при использовании источников питания с различной формой преобразования энергии были проанализированы с учетом:

- параметров каплепереноса электродного металла с поверхности электрода: наибольшее время длительности короткого замыкания дугового промежутка переходящей каплей с поверхности электрода в сварочную ванну обеспечивает инвертор 4 ($\tau_{к.з.}=7,88\pm2,85$ мс), а наименьшее инвертор 1 ($\tau_{к.з.}=6,22\pm2,31$ мс). Уменьшение времени перехода капли и увеличение количества коротких замыканий при использовании инверторных выпрямителей, подтверждает, что перенос электродного металла осуществляется меньшими по размерам каплями электродного металла [60];

- амплитуды максимального и минимального значений сварочного тока: наименьшее значение амплитуды тока при К.З. позволяет обеспечить инвертор 3 – 18 А, наибольшее значение тока - инвертор 2 - 109 А. При этом маленькие амплитудные значения тока, способствуют повышению быстродействия отработки источником питания естественных возмущающих воздействий в виде коротких замыканий дугового промежутка, что способствует повышению стабильности процесса сварки

- По мнению авторов [26], $\sigma(U)$ (среднеквадратичное отклонения напряжения) на постоянном токе не оказывает значительного влияния на стабильность горения дуги.

3.2. Влияние типа источника РДС на параметры переносимых электродных капель

3.2.1 Теоретический расчет

Используя методику, описанную в разделе 2.3, математическую формулу (2.6) и учитывая параметры переноса капель электродного металла (таблица 3.2), произвели расчет геометрических параметров переносимых капель электродного металла, полученные данные представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Среднестатистические расчетные данные массы и радиуса переносимых капель электродного металла (приложение Г, таблицы Г.1, Г.2)

Источника питания	Марка электродов	$\tau_{к.з.}, 10^{-3} \text{ с}$	Масса капли $m, \text{ г}$	Площадь поверхности капли (активная поверхность) $S, \text{ мм}^2$
Диодный выпрямитель	УОНИ 13/Мороз	$7,73 \pm 3,09$	0,025	0,96
Инвертор 1		$6,22 \pm 2,31$	0,011	0,77
Инвертор 2		$9,87 \pm 4,31$	0,047	1,25
Инвертор 3		$7,88 \pm 2,85$	0,039	1,10

Анализ данных таблицы 3.4 позволил установить, что использование инвертора 2 позволяет уменьшить объем переносимой одной капли электродного металла на 40 % относительно диодного выпрямителя, что обеспечивает более стабильный мелкокапельный перенос, особенно при сварке покрытыми электродами Уони 13/Мороз.

3.2.2 Определение параметров переносимых капель электродного металла с помощью систем моделирования и 3D-визуализации

Изучение параметров переносимых капель согласно методики п.2.3.1, позволил определить параметры переносимых капель, исследование по данной

методике проводили для РДС с использованием диодного выпрямителя и инвертор 1, так как тематика ВКР предложена предприятием ТПП «Лангепаснефтегаз», которое работает по РД-25.160.00-КТН-011-10, а данные источники внесены в реестр разрешенного к использованию оборудования.

Результаты получены при обработке кинограмм с использованием методики п.2.3.2 представлены на рисунке 3.2

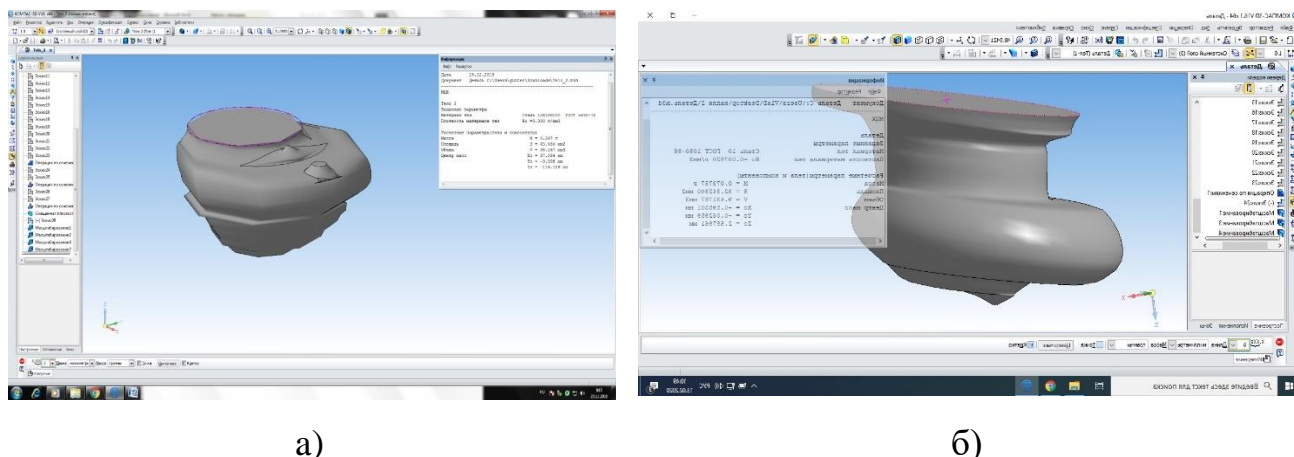


Рисунок 3.2 – Переносимые капли электродного металла после обработки средствами систем моделирования и 3D-визуализации: а – диодный выпрямитель, б – инвертор 1

Таблица 3.5 – Сопоставление теоретических и экспериментальных данных определённых параметров переносимых капель

Методика расчета	Марка электродов, источник питания	тк.з., 10^{-3} с	Масса капли т, г	Площадь поверхности капли (активная поверхность) S , мм ²
Полученные расчетным путем [17]	Диодный выпрямитель	7,73±3,09	0,025±0,001	0,96±0,34
	Инвертор 1	6,22±2,31	0,011±0,004	0,77±0,28
Полученные по	Диодный выпрямитель	7,73±3,09	0,0264±0,05	0,99±0,3

предложенной методике	Инвертор 1	6,22±2,31	0,017±0,001	0,84±0,28
-----------------------	------------	-----------	-------------	-----------

3.3. Изменения теплосодержания переносимых электродных капель в зависимости от типа источника питания

С помощью методики, описанной в разделе 2.3, и учитывая параметры переноса капель электродного металла таблица 3.2, была использована программа для ЭВМ [61], позволяющая оценить температуру перегрева электродных капель при РДС рисунок 3.5. Расчетные данные представлены в таблице 3.5.

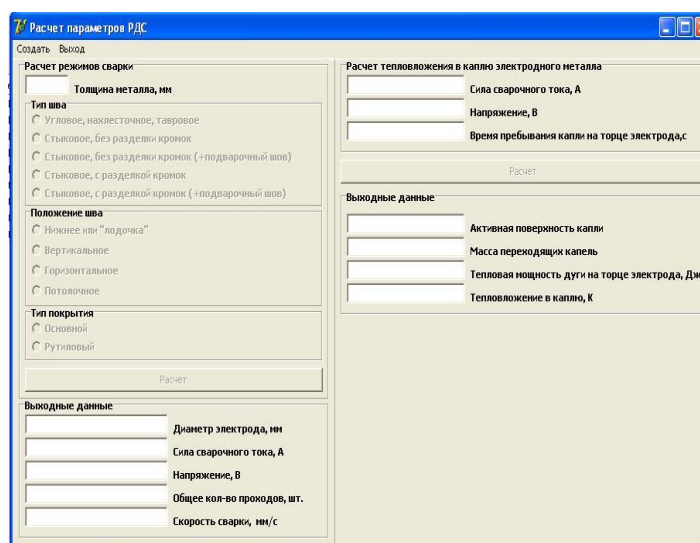


Рисунок 3.5 – Окно программы для ЭВМ «Расчет тепловложения в каплю электродного металла при РДС»

Таблица 3.6 – Температура перегрева капель электродного металла [62, 63]

Тип источника питания – выпрямитель	Марка электродов	$\tau_{к.з.}, 10^{-3}с$	$\Delta T_{к\text{ средние}}, ^\circ C$
Диодный	УОНИ 13/Мороз	7,73±3,09	845±35
Инвертор 1		6,22±2,31	424±20

Различное теплосодержание капель электродного металла (таблица 3.6) и время пребывания капли на торце электрода (таблица 3.2) влечет за собой изменение в размерах переносимых капель. Капли разного размера имеют разную активную поверхность, взаимодействующую со шлаком и атмосферой, а соответственно, и полноту протекания металлургических реакций [4].

3.4 Тип источника питания и ВАХ

Согласно методики, описанной в пункте 2.4 получены ВАХ от рассматриваемых источников питания, представлены на рисунке 3.6.

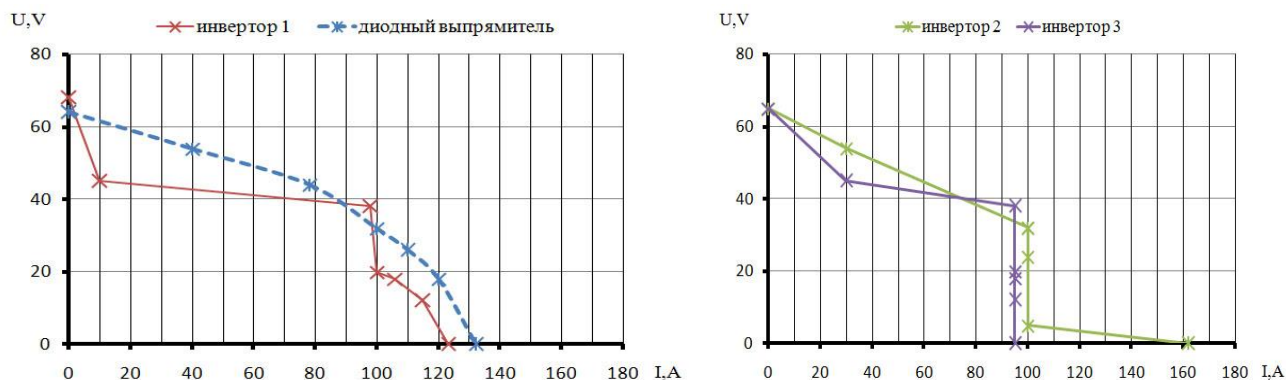


Рисунок 3.6 - Внешние характеристики источников питания

Анализ ВАХ, представленных на рисунке 3.6, показывает наличие штыковой характеристики на участке КЗ у инверторных источников питания, что позволяет объяснить ограничение тока КЗ при использовании инверторов в сравнении с диодным выпрямителем.

3.5 Влияние динамических свойств источника питания на макроструктурные изменения в сварных соединениях

Согласно методике, описанной в разделе 2.5, было проведено исследование макрошлифов сварных образцов. Макрошлифы, обработанные по схеме, показанной на рисунке 2.10, представлены на рисунке 3.7, а измеренные

величины в таблице 3.7.

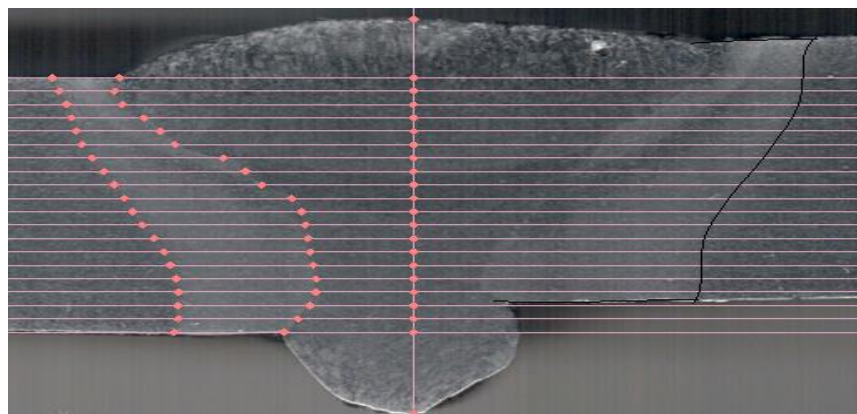


Рисунок 3.6 – Схема обработки макрошлифов в программе «Компас - 3D, Версия 16»

Таблица 3.7 – Экспериментальные данные обработки макрошлифов (приложение Г, таблица Г.1)

Сталь	Тип соединения по ГОСТ	Источник питания – выпрямитель	Площадь наплавленного металла, мм ²	Ширина наплавленного металла, мм	Площадь ЗТВ, мм ²	Ширина ЗТВ, мм
09Г2С	С17 толщина 6 мм	Диодный	23,6±0,4	3,33±2,6	51,8±0,5 3	2,08±0,06
		Инвертор 1	21,4±0,3	2,89±0,94	42,6±0,2 8	1,58±0,04

Анализ данных таблицы 3.7, позволил установить, уменьшение площади ЗТВ на 15 % и средней ширины ЗТВ на 36 % при использовании инверторного выпрямителя, чем при использовании диодного выпрямителя. А как установлено в работах [64-66], разрушения сварных конструкций чаще всего происходят в ЗТВ, структура, протяженность и свойства которой зависят от параметров термического цикла сварки.

В данной бакалаврской дипломной работе выбрана тема, посвященная изучению стабильности процесса сварки покрытыми электродами УОНИ 13/Мороз. В качестве одного из возможных способов повышения стабильности процесса сварки данной марки электродов УОНИ13/МОРОЗ предложено использование инверторных источников питания.

4.1 Расчет затрат на электроэнергию

В настоящее время на всех предприятиях России одна из важнейших проблем - это энерго - и ресурсосбережение, связана, в том числе, и со сварочными работами.

Из опыта Восточной и Западной Европы известно [67], что стоимость сварочных работ при ручной дуговой сварке может быть разделена на следующие части:

- 35% стоимость электродов;
- 35% оплата труда сварщиков;
- 2% оборудование и принадлежности (стоимость св. аппарата, кабелей и пр.);
- 28% стоимость электроэнергии.

Проблема повышенного потребления энергии крупными промышленными предприятиями существует давно, а в связи с постоянным увеличением роста тарифов на потребляемую электроэнергию, это накладывает отпечаток и на себестоимость выпускаемой продукции, что ведет к снижению конкурентной привлекательности по сравнению с отечественными и зарубежными конкурентами - производителями, поэтому предприятиям требуется искать все новые пути к решению этой проблемы.

Современное сварочное оборудование, построенное на базе инверторных источников, в отличие от традиционных выпрямителей, позволяет получить не только качественную сварку (более стабильный процесс, меньшая величина разбрызгивания, уменьшение зоны термического влияния), но и существенную экономию электроэнергии за счет высокого КПД.

Для оценки эффективности потребления электрической энергии произвели расчет при сварке с использованием 2 типов источников питания: наиболее применяемого источника питания ВД-306 (диодный выпрямитель) и инверторный источник питания УРАЛ Мастерс СЕВЕР (инвертор 1).

Таблица 4.1 - Технические показатели источников питания ручной дуговой сварки плавлением

Параметр	ВД-306 [1]	УРАЛ Мастерс СЕВЕР [68]
Максимальный ток, А	315	300
Максимальная мощность в нагрузке (P ₂), кВт	9,77	5
КПД, %, не менее	70	95
Потребляемая мощность при максимальной нагрузке, кВА	24	10

Стабильность процесса сварки оценивали по осциллограммам тока и напряжения представленных на рисунке 3.1. При использовании цифрового инверторного источника (амплитуда колебания сварочного тока составляет до 5 А) осциллограммы показывают более стабильный процесс (рисунок 3.1, б), чем от диодного выпрямителя (амплитуда колебания сварочного тока составляет до 69 А) (рисунок 3.1, а), тем самым происходит меньше пиковая нагрузка на электрические сети [67].

Различные технические характеристики источников питания и осциллограммы процессов сварки (рисунок 3.1) позволяют предположить и различное потребление электрической энергии. Для проверки этого

предположения был произведен расчет ориентировочной стоимости электроэнергии потребляемой за год работы на одном сварочном посту в режиме ручной сварки электродом.

Затраты на электроэнергию определяются по формуле:

$$C_{эл} = t_k * (U * I + W_k * K_p) * C_э \eta / 1000 \quad (4.1)$$

где $C_{эл}$ – стоимость электроэнергии, руб/м шва;

t_k – время сварочных работ, ч/м шва; 0,167 ч/м;

U - напряжение дуги, В;

I - сварочный ток, А;

η - коэффициент полезного действия источника питания дуги;

W_k - потребляемая мощность хода источника питания дуги, Вт;

K_p - коэффициент потерь в сети завода (1,04-1,08);

$C_э$ – цена 1 кВт*ч электроэнергии, руб.

Значения U и I принимаются согласно таблице 3.1. Величины η и W_k устанавливаются по паспортам источников питания, таблица 4.1. Цена 1 кВт.* ч. электроэнергии ($C_э$) устанавливается согласно [69]. 1,2 руб.

диодный выпрямитель

$$C_{эл} = 0,167 * (20,5 * 87 + 9777 * 1,5) * 1,2 - 0,70 / 1000 = 2,3 \text{ рубля/метр шва}$$

инвертор 1

$$C_{эл} = 0,167 * (21 * 86 + 5000 * 1,5) * 1,2 0,95 / 1000 = 1,7 \text{ рубля/метр шва}$$

4.2 Расчет затрат на покрытые электроды

Расчет покрытых электродов ведем через массу наплавленного металла на 1 м шва, по методике [70]:

$$M_э = K_{п.ш} * K_{р.э} * M_{н.о}, \quad (4.2)$$

где $K_{п.ш}$ – коэффициент, учитывающий потери электродов в зависимости от положения шва;

$K_{п.ш}=1.1$ – при сварке в нижнем положении;

$K_{p.э}$ – коэффициент расхода электродов, учитывающий тип и толщину покрытия, потери на разбрызгивание и огарки и тип источника питания $K_{p.э}=1,29$ - для ВД-306; $K_{p.э}=1,19$ - для УРАЛ Мастерс СЕВЕР; (см. таблицу 3.2)

$M_{н.о}$ – масса наплавленного металла, кг.

Массу наплавленного металла можно определить по формуле:

$$M_{но} = F_{но} \cdot L_{шо} \cdot \rho, \quad (4.3)$$

где $F_{но}$ – площадь сечения наплавленного металла шва, $F_{но}=15,4 \text{ мм}^2$;

$L_{шо}$ – длина сварного шва, $L=1 \text{ м}$;

ρ – плотность металла наплавленного шва, $\rho=7,8 \cdot 10^{-3} \text{ г/мм}^3$.

Затраты на покрытые электроды:

$$C_э = M_э \cdot Ц_э, \quad (4.4)$$

где $Ц_э$ – стоимость 1 кг электродов, для электродов марки УОНИ 13/МОРОЗ диаметром 3 мм $Ц_э=258,76 \text{ руб.}$

$$C_э = 1,1 \cdot 1,29 \cdot 0,12 \cdot 258,76 = 44,1 \text{ руб/метр шва}$$

$$C_э = 1,1 \cdot 1,19 \cdot 0,12 \cdot 258,76 = 40,64 \text{ руб/метр шва}$$

С точки зрения ресурсоэффективности можно сказать, что при применении оборудования с более высокими динамическими свойствами Инвертор 1 (УРАЛ Мастерс СЕВЕР), в сравнении с диодным выпрямителем (ВД-306) получаем экономию на 1 метр шва, затрат на: электроэнергию на 27 процентов (применяется источник с низким коэффициентом потер) и сварочных материалов на 10 % (низкая величина разбрызгивания расплавленного электродного металла).

5 Социальная ответственность

5.1 Описание рабочего места

Объектом исследования является лаборатория кафедры сварочного производства ЮТИ НИ ТПУ г. Юрги. Размеры лаборатории: длина – 13м, ширина – 6м, высота – 2,5м. Материал стен – кирпич, материал пола и потолка – бетон и бетонные плиты. Количество оконных проемов – 2 и дверных – 1. Лаборатория занимает площадь, равную 78м².

В качестве основных источников питания при сварке использовались: источник питания, изготовленный по классической схеме сварочного выпрямителя – типа ВД-306Э (диодный выпрямитель, рисунок 2.4., а) и источники питания инверторного типа: УРАЛ МАСТЕРС СЕВЕР (инвертор 1, рисунок 2.4., б); Ресанта САИ 250 ПРОФ (инвертор 2, рисунок 2.4., в); Fubag INTIG 200 SYN PLUS (инвертор 3, рисунок 2.4., г).

Количество основных рабочих на участке 1 человек (при 1- сменном режиме работы). Площадь участка 78м². Стены цеха выполнены из негорючих железобетонных блоков (в соответствии со СНиП 21-01-97), окрашенных в светлые тона.

Сварочные материалы: покрытые электроды УОНИ13/Мороз. Основные материалы - сталь марки 09Г2С. Перемещение деталей и сборочных единиц в границах участка производят кран-балкой грузоподъемностью 2 т, в пределах пролета – краном мостовым грузоподъемностью 5 т. На случай пожара цех оснащен запасным выходом.

Используется слесарный инструмент: молоток (т = 2 кг) ГОСТ 2310 - 77, шабер, машинка ручная шлифовальная пневматическая ИП 2002, стальная щетка.

На проектируемом участке при выполнении технологического процесса существует возможность воздействия следующих вредных и опасных факторов: запылённость и загазованность воздуха рабочей зоны, ультрафиолетовое излучение, инфракрасное и тепловое излучение сварочной дуги и сварочной ванны, шум, психофизическая нагрузка на рабочего, опасность поражения электрическим током, локальная вибрация, движущиеся механизмы и оборудование.

5.2 Законодательные и нормативные документы

В данной работе использованы НТД:

ГОСТ 2310 – 77 «Молотки слесарные. Технические условия»;

ГОСТ Р 54578 – 2011 «Воздух рабочей зоны. Аэрозоли преимущественно фиброгенного воздействия»;

«Санитарные нормы ультрафиолетового излучения в производственных помещениях» (утвержден Главным государственным санитарным врачом СССР 23 февраля 1988 г. №4557 – 88);

СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96 «Шум на рабочих местах, в жилых помещениях, общественных зданиях и на территории жилой застройки»;

ГОСТ 12.2.003 – 91 «Оборудование производственное. Общие требования безопасности»;

ГОСТ 12.1.012 – 2004 «ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования»;

СН 2.2.4/2.1.8.556 – 96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий»;

ФЗ «Об основах охраны труда в РФ» от 17.07.1999 г. (номер 181 - ФЗ);

СНиП 2.09.03 – 85 «Сооружения промышленных предприятий»;

СП 1009 – 73 «Санитарные правила при сварке, наплавке и резке металлов»;

ТУ 8572 – 017 – 00302190 – 93 «Костюмы мужские для сварщиков, защищающие от искр, брызг расплавленного металла»;

ГОСТ 12.4.010 – 75 СИЗ «Рукавицы специальные»;

ГОСТ 12.4.002 – 97 ССБТ «Средства индивидуальной защиты рук от вибрации»;

СНиП 23 – 05 – 95 «Естественное и искусственное освещение»;

СНиП 2.04.02 – 84 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения»;

ФЗ №66 «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций техногенного характера» от 21.12.94 г.;

ГОСТ 12.4.009 – 83 «Пожарная техника для защиты объектов. Основные виды, размещение и обслуживание»;

СНиП 21 – 01 – 97 «Пожарная безопасность зданий и сооружений»;

СНиП 31 – 03 – 2001 «Производственные здания».

ГОСТ 30873.4 «Определение параметров вибрационной характеристики ручных машин и с ручным управлением»

5.3 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды

Запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны

Данный фактор определяется и регламентируется ГОСТ Р 54578-2011 «Воздух рабочей зоны. Аэрозоли преимущественно фиброгенного действия. Общие принципы гигиенического контроля и оценки воздействия».

При сварке в зону дыхания работающих могут поступать сварочные аэрозоли, содержащие в составе твёрдой фазы окислы различных металлов (марганца, хрома, никеля, меди, алюминия, железа и др.), их оксиды и другие соединения, а также токсичные газы (окись углерода, озон, фтористый водород, окислы азота и т.д.)[13].

Автотранспорт, который используется для перевозки готовых изделий, выбрасывает в атмосферу цеха опасные для здоровья рабочих вещества, к ним относятся: свинец, угарный газ, бенз(а)пирен, летучие углеводороды.

Источником выделения вредных веществ также может быть краска, грунт или покрытие, находящиеся на кромках свариваемых деталей и попадающие в зону сварки. Для уменьшения выделения вредных веществ поверхности свариваемых деталей должны при необходимости зачищаться от грунта и покрытия по ширине не менее 20 мм от места сварки.[13]

Для защиты органов дыхания, необходимо использовать средства индивидуальной защиты, к которым относятся респираторы. На данном участке сборки и сварки применяют респиратор «Лепесток» ГОСТ 12.4.028–76, который защищает органы дыхания от пылевых аэрозолей. Также каждое рабочее место оборудуется вытяжной вентиляцией, которая производит отбор

загрязненного воздуха из рабочей зоны. Подвижность воздуха в зоне сварки должна быть 0,2,0,5 метров в секунду.

Основным средством от повышенной запыленности и загазованности воздуха рабочей зоны является применение приточно – вытяжной вентиляции.

Согласно требований СП 1009-73 «Санитарные правила при сварке, наплавке и резке металлов» многопролетных зданиях с целью предотвращения перетекания сварочного аэрозоля в помещения, где сварка не производится, пролеты вдоль линии раздела должны иметь перегородки, не доходящие до уровня пола на 2,5 м. При работе, связанной с применением защитных газов, обшивка по всему периметру не должна доходить до пола на расстояние 300 мм.

Каждое рабочее место также оборудуется вытяжным отсосом – зонтом, открытой конструкцией, всасывающее отверстие которой, приближено к источнику выделений.

В работах установлено [34,38], что использование инверторных источников питания при сварке в сравнении с диодным выпрямителем, способствует улучшению санитарно-гигиенических условий труда на рабочем месте сварщика за счет значительного уменьшения выделения твердой фракции сварочного аэрозоля в атмосфере рабочей зоны сварщика до 38 %, а в ней токсичных выделений марганца до 30 %.

Тепловые излучения (инфракрасное и ультрафиолетовое излучение).

В производственной обстановке рабочие, находясь вблизи расплавленного или нагретого металла, горячих поверхностей подвергаются воздействию теплоты, излучаемой этими источниками. Горение сварочной дуги сопровождается излучением видимых ослепительно ярких световых лучей и невидимых ультрафиолетовых и инфракрасных лучей.

Видимые лучи ослепляют, так как яркость их превышает физиологическую переносимую дозу. Короткие ультрафиолетовые лучи даже при кратковременном воздействии могут вызвать электроофтальмию.

Инфракрасные лучи главным образом обладают тепловым эффектом, их интенсивность зависит от мощности дуги.

В зависимости от длины волны изменяется проникающая способность инфракрасного излучения. Наибольшую проникающую способность имеет коротковолновое инфракрасное излучение (0,76-1,4 мкм), которое проникает в

ткани человека на глубину в несколько сантиметров. Инфракрасные лучи длинноволнового диапазона (9-420 мкм) задерживаются в поверхностных слоях кожи.

На проектируемом участке сборки и сварки корпуса коронки источниками ультрафиолетового и инфракрасного излучения является сварочная дуга, а также источником инфракрасного излучения является расплавленная сварочная ванна и свариваемые детали.

«Санитарные нормы ультрафиолетового излучения в производственных помещениях» (СН 4557-87) регламентируют данный производственный фактор.

Для защиты глаз и лица сварщиков используются специальные щитки и маски. Для защиты глаз от ослепляющей видимой части спектра излучения, ультрафиолетовых и инфракрасных лучей в очках и масках должны применяться защитные светофильтры. Марка светофильтра выбирается в зависимости от силы сварочного тока. Рекомендуется использование светофильтров из темного стекла ЭЗ, С4.

В работах установлено [34,38], что использование инверторных источников питания при сварке, позволяет снизить интенсивность излучения до 37 %, в сравнении с диодным выпрямителем.

Шум

Параметры шума на рабочих местах определены санитарными нормами СН2.2.4/2.1.8.562–96 «Шум на рабочих местах, в жилых помещениях, общественных зданиях и на территории жилой застройки». Допустимый уровень звукового давления на участке при эксплуатации оборудования составляет:

74÷99 дБ, что является нормой и не требует специальных средств защиты.

Источниками шума на участке сборки и сварки являются: сварочный полуавтомат (Форсаж - 302); подающее устройство полуавтомата (Форсаж – МП5); сварочная дуга; слесарный инструмент; работа электродвигателя кран – балки. На проектируемом участке уровень шума составляет 65...80 дБ при норме 85 дБ.

Для защиты органов слуха от шума рекомендуется использовать противοшумные наушники по ГОСТ Р 12.4.255-2011

На данном участке используем виброизолирующие основания серии 3.901.1-17 для защиты от шума вентиляционного оборудования, вентиляторы установлены в отдельные звукоизолирующие помещения, вынесенные за пределы цеха.

Вибрация

Вибрация относится к факторам, обладающим высокой биологической активностью. Выраженность ответных реакций обуславливается главным образом силой энергетического воздействия и биомеханическими свойствами человеческого тела как сложной колебательной системы.

Согласно ГОСТ 12.1.012-2004 риск, сопутствующий работе виброактивных машин, должен быть снижен до минимально возможного, а вибрационная характеристика такой машины должна быть указана в сопроводительных документах.

Согласно ГОСТ30873.4 вибрация в каждом из направлений оказывает одинаково вредное воздействие на оператора. Поэтому измерения необходимо проводить во всех трех направлениях.

Гигиеническое нормирование вибраций регламентирует параметры производственной вибрации и правила работы с виброопасными механизмами и оборудованием ГОСТ 12.1.012-2004 "ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования". Санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.556-96 "Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий".

На данном производственном участке вибрацию создает ручная шлифовальная пневматическая машина ИП 2002, применяемая для зачистки деталей от брызг сварки. Вибрация в данном случае – локальная, т.е. воздействующая на отдельные части организма.

Согласно требованиям СН 2.2.4/2.1.8.556 – 96 предельно допустимые величины нормируемых параметров производственной локальной вибрации при длительности вибрационного воздействия 480 мин (8 ч) виброускорения – от 1,4 м/с до 89 м/с. Работа в условиях воздействия вибрации с уровнями, превышающими настоящие санитарные нормы более чем на 12 дБ (в 4 раза) по интегральной оценке или в какой-либо октавной полосе не допускается.

Движущиеся механизмы

На участке применяются: кран-балка (грузоподъемностью 2,0 т·с), автотранспорт, то есть имеется опасность нанесения вреда человеку движущимися и вращающимися частями машин.

Опасность представляют грузы, перемещаемые с помощью стропа.

В качестве защиты необходимо проводить регулярный инструктаж рабочих по технике безопасности, все движущиеся механизмы должны быть аттестованы.

Проходы: между оборудованием, движущимися механизмами и перемещаемыми деталями, а также между постами – не менее 1 м; свободная площадь на один сварочный пост – не менее 3 м; при эксплуатации подъемно-транспортных устройств ограждение всех движущихся и вращающихся частей механизмов.

При эксплуатации шлифовальной машины — защитный кожух на шлифовальном круге.

5.4 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды

Электрический ток.

На данном участке используется различное сварочное оборудование. Его работа осуществляется при подключении к сети переменного тока с напряжением 380В. Общие требования безопасности к производственному оборудованию предусмотрены ГОСТ 12.2.003 – 81.

На проектируемом участке применяются искусственные заземляющие устройства, которые состоят из заземлителей и заземляющих проводников. Заземлители представляют собой стальные трубы диаметром 50...70 мм с толщиной стенок 3...5 мм либо стержни из угловой стали размером 50х50х5 мм, забиваемые в землю на глубину 2...2,5 м с шагом, равным их длине, так, чтобы их верхние части были под поверхностью земли на глубине 0,5...0,8 м.

Сопротивление заземляющих устройств не должно превышать 4 Ом.[13]

Термические ожоги.

Термические ожоги возникают вследствие непосредственного контакта с раскаленным металлом сварочной ванны, электрической дугой и пламенем

газовой горелки. Для предотвращения термических ожогов кожного покрова необходимо использовать индивидуальные средства защиты.

Маска из фибры защищает лицо, в соответствии ГОСТ Р 12.4.238-2007 шею от брызг расплавленного металла и вредных излучений сварочной дуги.

Спецодежда – костюм и брюки, а также рукавицы, изготавливаются из брезента и служат для защиты тела и рук от брызг сварки и теплового излучения. Для защиты ног сварщиков используют специальные ботинки, исключаяющие попадание искр и капель расплавленного металла ГОСТ 12.4.250-2013.

Для защиты рук от брызг и лучистой энергии применяют брезентовые рукавицы со специальной противопожарной пропиткой ГОСТ 12.4.010.2013.

Согласно требований СП 1009-73 «Санитарные правила при сварке, наплавке и резке металлов» для защиты от лучистой энергии рабочих, не связанных со сваркой, наплавкой или резкой металлов, сварочные посты должны ограждаться экранами из несгораемых материалов высотой не менее 1,8 м.

Пожаровзрывобезопасность.

Пожаровзрывобезопасность производства определяется показателями пожаровзрывоопасности веществ и материалов и их агрегатным состоянием. К этим показателям относится группа горючести, температура вспышки, воспламенения и самовоспламенения, условия теплового самовозгорания.

Участок сборки и сварки относится к категории В (пожароопасный).

5.5 Обеспечение требуемого освещения на рабочем месте

Согласно СНиП 23 - 05 – 95 "Естественное и искусственное освещение" для проектируемого участка освещенность рабочей зоны должна быть не менее 500-700 лк. На проектируемом участке освещение комбинированное естественное, то есть осуществляемое через окна в наружных стенах (боковое освещение) и через фонарь (верхнее освещение). Также предусмотрено искусственное освещение газоразрядными лампами, используемое при недостаточном естественном освещении в темное время суток. Световой поток светильника определяется по формуле: (5.1)

где E - заданная минимальная освещенность, Лк;

Кз- коэффициент запаса;

S- освещаемая площадь, м²;

Z- коэффициент минимальной освещенности;

h- коэффициент использования светового потока

E= 500Лм; Кз=1,8; S= 78 м²; Z=1,5; h=0,48; j = 33000Лм.

(5.2)

шт.

Принимаем светильники типа ОД с лампой ДРЛ-750, Φ = 33000 Лм.

5.6 Охрана окружающей среды

Для очистки выбросов в атмосферу, производящихся на участке сборки и сварки, достаточно производить улавливание аэрозолей и газообразных примесей из загрязнённого воздуха. Установка для улавливания аэрозолей и пыли предусмотрена в системе вентиляции. Для этого на участке сборки и сварки используют масляные фильтры типа EF-3000-4-4.6с.

Фильтр EF рассчитан на продолжительную работу при следующих климатических условиях:

-температура окружающего воздуха -30°С до 45°С;

- относительная влажность 80% при 15°С.

Эффективность фильтров данного типа составляет 95 - 98 %.

Предельно допустимая концентрация примесей в атмосфере на территории промышленного предприятия не должна превышать 30 % вредных веществ. Очистка промышленных стоков должна соответствовать требованиям СНиП 2.04. 02 – 84 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения». Металлические отходы являются главным видом отходов на данном участке.

На проектируемом участке сборки и сварки предусмотрены емкости для складирования металлических отходов (обрезки сварочной проволоки,

бракованные изделия), а также емкости для мусора. Все металлические отходы транспортируются в металлургический цех, где они перерабатываются, а весь мусор вывозится за территорию предприятия в специально отведенные места и уничтожается.

5.7 Чрезвычайные ситуации

На проектируемом участке могут возникнуть чрезвычайные ситуации следующих видов:

- а) транспортные аварии;
- б) пожары, взрывы;
- в) внезапное обрушение зданий и сооружений;
- г) аварии на коммунальных системах снабжения.

С целью защиты работников и территории от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, опасностей, возникающих при ведении военных действий или вследствие этих действий предприятие создаёт и содержит в постоянной готовности необходимые защитные сооружения и организации гражданской обороны в соответствии с федеральными законами РФ от 21.12.94 №66 «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций техногенного характера», от 12.02.98 №28 «О гражданской обороне» и постановлением правительства РФ №620 от 10.06.99 «О гражданских организациях гражданской обороны».

Одной из чрезвычайных ситуаций является пожар. Пожарная безопасность - это такое состояние объекта, при котором исключается возможность возникновения пожара, а в случае его возникновения предотвращается воздействие на людей опасных факторов пожара и обеспечивается защита материальных ценностей.

Участок должен быть оборудован средствами пожаротушения по ГОСТ 12.4.009-83:

- а) огнетушитель порошковый ОП-2 для тушения лакокрасочных материалов и оборудования под напряжением;
- б) песок (чистый и сухой) для тушения электроустановок под напряжением;

- в) кран внутреннего пожарного водопровода;
- г) огнетушитель углекислотный ОУ-8.

Для предотвращения обрушения зданий и сооружений создана специальная комиссия, которая с периодичностью раз в полгода проводит осмотр здания и выносит предписания по необходимым мерам, а также следит за их выполнением.

5.8 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Размещение оборудования и организация рабочих мест на проектируемом участке выполнена согласно требованиям приведенных в ГОСТ 12.2.061-81.

Ширина проходов между оборудованием, движущимися механизмами, перемещаемыми деталями составляет 0,8 м. Зоны с опасными производственными факторами огорожены, и знаки безопасности выдержаны по ГОСТ 12.4.026 -76.

В качестве материала для стен кабины используется тонкое железо, Каркас кабины сделан из металлических труб. Дверной проем кабины закрывают брезентовым занавесом, укрепленным на кольцах.

Для отделки стен кабины применяют желтый крон, который хорошо поглощает ультрафиолетовые лучи.

На участке сборки и сварки применяем общеобменную приточно-вытяжную вентиляцию и местную вытяжную вентиляцию.

Каждое рабочее место также оборудуется вытяжным отсосом – зонтом, открытой конструкцией, всасывающее отверстие которой, приближено к источнику выделения. Подвижность воздуха в зоне сварки должна быть 0,2,0,5 метров в секунду.

Определим необходимый объём воздуха L , удаляемый от местных отсосов по формуле [14]:

$$L = 3600 \cdot F \cdot V, \quad (5.1)$$

где F – суммарная площадь рабочих проёмов, $F = 0,8 \text{ м}^2$;

V – скорость всасывания воздуха на рабочем участке, м/с, $V = 0,5$ м/с.

$$L = 3600 \times 0,8 \times 0,5 = 1440 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Из расчета видно, что объём воздуха удаляемый от местных отсосов составляет $L = 1440 \text{ м}^3/\text{ч}$.

В результате проведенных расчетов выбираем вентилятор радиальный FUK – 2100 SP с двигателем типа АДМ71А2У2, мощностью 0,75 кВт.

5.9 Выводы

Для обеспечения безопасной жизнедеятельности трудового коллектива на проектируемом участке были разработаны и приняты следующие меры:

- а) для устранения вредного воздействия аэрозолей, пыли, дыма на рабочих местах применяется общеобменная система вентиляции с использованием вентилятора радиального FUK – 2100 SP с двигателем типа АДМ71А2У2, мощностью 0,75 кВт;
- б) для предотвращения опасности поражения электрическим током применяется: защитное разделение сети; защитное заземление; изолирующая обувь;
- в) требуемое освещение на рабочем участке обеспечивается 9 светильниками типа ОД с лампами ДРЛ-750;
- г) для защиты от излучений сварочной дуги и предотвращения опасности ожогов, из-за брызг расплавленного металла, используется: термозащитная спецодежда, рукавицы брезентовые, сварочные щитки или защитные маски со светофильтрами, спецобувь, защитные ширмы;
- д) для защиты от шума - противοшумные наушники типа РОСОЗМ -8, от вибрации - антивибрационные рукавицы;
- е) при слесарной обработке для защиты глаз рабочих от частиц металла – очки защитные типа ЗПР, при работе шлифовальными машинами и при сварке для защиты органов дыхания рабочих – респираторы «Лепесток»;
- ж) участок обеспечивается средствами тушения: огнетушителями порошковыми ОП-8; ящиками с песком; краном внутреннего пожарного водопровода.
- з) использование инверторных источников питания при сварке в сравнении с диодным выпрямителем, способствует улучшению санитарно-гигиенических условий труда на рабочем месте сварщика за счет значительного уменьшения выделения твердой фракции сварочного аэрозоля в атмосфере рабочей зоны сварщика до 38 %, а в ней токсичных выделений марганца до 30 %.

Заключение

1 Анализ литературных источников позволил установить, что параметры режимов сварки плавящимся электродом, такие как длительность короткого замыкания дугового промежутка ($\tau_{к.з.}$, мс), длительность цикла – период образования и переноса капли ($T_{к.з.}$, мс), значения тока (максимальное – $I_{тах}$ и минимальное $I_{тин}$, А); скорость нарастания тока ($V_{нарастания} I_{св}$ и $V_{спада} I_{св}$, А/с), являются основными для оценки стабильности тепломассопереноса при дуговой сварке плавящимся электродом.

2 Повысить стабильность процесса РДС покрытыми электродами марки УОНИ13/Мороз, можно используя источника питания с высоким динамическими свойствами:

- параметров каплепереноса электродного металла с поверхности электрода: наибольшее время длительности короткого замыкания дугового промежутка переходящей каплей с поверхности электрода в сварочную ванну обеспечивает инвертор 4 ($\tau_{к.з.}=7,88\pm2,85$ мс), а наименьшее инвертор 1 ($\tau_{к.з.}=6,22\pm2,31$ мс). Уменьшение времени перехода капли и увеличение количества коротких замыканий при использовании инверторных выпрямителей, подтверждает, что перенос электродного металла осуществляется меньшими по размерам каплями электродного металла [60];

- амплитуды максимального и минимального значений сварочного тока: наименьшее значение амплитуды тока при К.З. позволяет обеспечить инвертор 3 – 18 А, наибольшее значение тока - инвертор 2 - 109 А. При этом маленькие амплитудные значения тока, способствуют повышению быстродействия отработки источником питания естественных возмущающих воздействий в виде коротких замыканий дугового промежутка, что способствует повышению стабильности процесса сварки.

Список литературы

1. Ерохин А. А. Основы сварки плавлением. Физико-химические закономерности. – М.: Машиностроение, 1973. – 448 с.
2. Походня И. К. Газы в сварных швах. – М.: Машиностроение, 1972. – 256 с.
3. Заруба И. И. Природа коротких замыканий дуги при сварке в углекислом газе // Автоматическая сварка. – 1973. – № 5. – С. 14-17.
4. Пат. РФ2322331 МПК В23К 9/173 В23К 9/09. Способ ручной электродуговой сварки плавящимся электродом модулированным током корневого шва / Князьков А. Ф., Князьков С. А., Деменцев К. И., Князьков В. Л., Качаев Д. В. – Заявл. 26.06.2006.
5. Пат. РФ2371288 МПК В23 9/173 В23К 9/09 Способ ручной электродуговой сварки плавящимся электродом модулированным током корневого шва / Князьков А. Ф., Князьков С. А., Деменцев К. И., Князьков В. Л. – Заявл. 07.07.2008.
6. Мазель А. Г. О стабильности процесса ручной дуговой сварки модулированным током / А. Г. Мазель, Р. И. Дедюх // Сварочное производство. – 1978. – № 12. – С. 11-13.
7. Ерохин, А.А. Основы сварки плавлением. Физико-химические закономерности / А. А. Ерохин. – Москва: Машиностроение, 1973. – 448 с.
8. Мазель, А.Г. Технологические свойства электросварочной дуги / А.Г. Мазель. – Москва: Машиностроение, 1969. – 178 с.
9. Металлургия дуговой сварки: процессы в дуге и плавление электродов / под. ред. И.К. Походня. – Киев: Наукова думка, 1990. – 222 с.
10. Новые сварочные источники питания / И.И. Заруба. – Киев: Издательство «Вища школа», 1992. – 144 с.
11. Дедюх, Р.И. Физические и технологические свойства сварочной дуги // Р.И. Дедюх. – Томск: Издательство ТПУ, 2002. – 92 с.

12. Азаров, Н.А. Разработка скоростного процесса сварки модулированным током корневых слоев шва трубопроводов электродами с основным видом покрытия: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Москва: МИНГ им. И. М. Губкина, 1988. – 19 с.
13. Шатило, С.П. Модель переноса электродного металла при ручной дуговой сварке / С.П. Шатило, В. Д. Макаренко // Сварочное производство. – 1995. – № 9. – С. 3–5.
14. Brandi, S. Analysis of metal transfer in shielded metal arc welding / S. Brandi, C. Taniguchi, S. Liu // Welding Journal. – 1991. – № 7. – P. 261–270.
15. Lancaster, J.F. Metallurgy of welding / J. F. Lancaster. – 5th ed. – London: Chapman & Hall, 1993.
16. Lancaster, J.F. The physics of welding / J. F. Lancaster. – 2nd ed. – Oxford: Pergamon, 1986.
17. A study of the mechanism for globular metal transfer from covered electrodes / J.H. Chen, D. Fan, Z.Q. He, J. Ye, Y.C. Luo // Welding Journal. – 1989. – 68(4). – S. 145–150.
18. The Effect of the Use of PTFE as a Covered-Electrode Binder on Metal Transfer / Vaz, Claudio Turani; Bracarense, Alexandre Queiroz // SOLDAGET & INSPECAO. – 2013 – Vol. 20, № 2. – P. 160–170.
19. Vaz, C.T. Influência do polímero utilizado como aglomerante em eletrodos revestidos básicos sobre a formação de ferrita acicular no metal de solda [doctor thesis]. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2014. [Links]
20. Todenessi, P.J. A química da formação do cordão na soldagem TIG. Soldagem e Inspeção. 2013; 18(3): 287–300. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-92242013000300011>
21. Князьков, В.Л. Повышение эффективности ручной дуговой сварки модулированным током электродами с покрытием за счет автоматической адаптации параметров режима к технологическому процессу: дис. ... канд. техн. наук / Виктор Леонидович Князьков. – Барнаул, 2006. – 165 с.
22. Веревкин, А.В. Повышение эффективности сварки в CO₂

неповоротных стыков магистральных трубопроводов за счет применения импульсного питания сварочной дуги: дис. ... канд. техн. наук / Веревкин Алексей Валерьевич. – Томск, 2010. – 143 с.

23. Шатило С.П., Макаренко В. Д. Модель переноса электродного металла при ручной дуговой сварке // Сварочное производство. – 1995. - №9.- С.3-5.

24. Мазель А.Г. Технологические свойства электросварочной дуги. «Машиностроение», 1969, 178 с.

25. Новожилов Н. М. Основы металлургии дуговой сварки в газах. М. – Машиностроение. – 1979. – 231 с.

26. Ланкин, Ю.Н. Показатели стабильности процесса дуговой сварки плавящимся электродом / Ю.Н. Ланкин // Автоматическая сварка. – 2011. – № 1. – С. 7–15.

27. Оборудование для дуговой сварки: справочное пособие / под ред. В. В. Смирнова. – Ленинград: Энергоатомиздат, 1986. – 656 с.

28. Il'yashchenko D. P., Chinakhov D. A., Makarov S. V., Danilov V. I., Gapinsky A. A., Verkhoturova E. V. Effect of ultra-disperse powder in electrode coating on properties of welds in MMA welding // Engineering Solid Mechanics. - 2020 - Vol. 8 - №. 1. - p. 41-48.

29. Макаренко, В.Д. Технологические свойства монтажной сварки трубопроводов / В. Д. Макаренко, Р.В. Палий, М.Ю. Мухин и др.; / под ред. В.Д. Макаренко. – Москва: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2001. – 118 с.

30. Панибрактцев, Б.К. Исследование стабильности и разработка технологии автоматической сварки в среде углекислого газа неповоротных стыков магистральных трубопроводов большого диаметра: дис. ... канд. тех. наук / Б.К. Панибрактцев. – Москва, 1979. – 196 с.

31. Металлургия дуговой сварки: процессы в дуге и плавление электродов / под. ред. И.К. Походня. – Киев : Наукова думка, 1990. – 222 с.

32. Юшин, А.А. Разработка критериев оценки сварочных свойств установок для дуговой сварки с управляемым каплепереносом: дис. ... канд.

техн. наук / Алексей Александрович Юшин. – Москва, 2012. – 165 с.

33. Ульянова, О.В. Информационно-измерительная система для аттестации источников питания дуговой сварки на основе параметров марковской модели процесса плавления: дис. ... канд. техн. наук / О. В. Ульянова. – Волгоград, 2006. – 158 с.

34. Ильященко, Дмитрий Павлович. Влияние энергетических параметров инверторных источников питания на структуру и свойства неразъемных соединений при ручной дуговой сварке : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук : спец. 05.02.10 / Д. П. Ильященко; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Юргинский технологический институт (ЮТИ) ; науч. рук. Д. А. Чинахов. — Томск: [Б. и.], 2017. — 18 с.

35. Милютин, В.С. Оценка стабильности режима при испытании источников питания для ручной дуговой сварки / В.С. Милютин, Р. Ф. Катаев, А.В. Полухин // Сварка и диагностика. – 2014. – № 3. – С. 32–38.

36. Милютин В.С. Испытания сварочных свойств оборудования для дуговой сварки: / В.С. Милютин – Екатеринбург, 2019. —466 с.

37. Князьков, В.Л. Повышение эффективности ручной дуговой сварки трубопроводов / В.Л. Князьков, А.Ф. Князьков. – Кемерово: Изд-во ГУ КузГТУ, 2008. – 104 с.

38. Ильященко Дмитрий Павлович. Влияние энергетических параметров инверторных источников питания на структуру и свойства неразъемных соединений при ручной дуговой сварке: диссертация кандидата Технические науки: 05.02.10 / Ильященко Дмитрий Павлович; [Место защиты: ФГБУН Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук], 2017 - 137 с.

39. Макаренко, В.Д. Особенности ручной дуговой сварки корневых швов неповоротных стыков нефтепроводов, эксплуатируемых в условиях Западной Сибири / В.Д. Макаренко, К.А. Муравьев, А.И. Калянов // Сварочное производство. – 2005. – № 12. – С. 38–41.

40. Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – Москва: Наука, 1968 – 47 с.
41. <https://allcalc.ru/node/45>
42. Ильященко, Д.П. Методика расчета объема капли расплавленного электродного металла ТТА / Д.П. Ильященко // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 9. – С. 235–237.
43. <https://allcalc.ru/node/45>
44. Lebedev V. Determination of the volume of the different drop of electrode metal in the conditions of vibrations of the bath and electrode with arc mechanized welding/ Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні №2, 2017. С 95-99.
45. Макаренко, В.Д. Технологические свойства монтажной сварки трубопроводов / В. Д. Макаренко, Р.В. Палий, М. Ю. Мухин и др.; / под ред. В. Д. Макаренко. – Москва: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2001. – 118 с.
46. Крампит, А.Г. Методика определения геометрических размеров и площади сварного шва / А.Г. Крампит, Н.Ю. Крампит // Сварочное производство. – 2012. – № 10 – С. 40–42.
47. Вотинова Екатерина Борисовна. Прогнозирование перехода элементов в наплавленный металл при ручной дуговой сварке для совершенствования состава покрытий сварочных электродов: диссертация ... кандидата технических наук: 05.02.10 / Вотинова Екатерина Борисовна; [Место защиты: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина"] .- Екатеринбург, 2016.- 131 с.
48. Макаренко, В.Д. Расчет кинетических характеристик электродных капель при их переходе через дуговой промежуток в процессе сварки покрытыми электродами / В. Д. Макаренко, С.П. Шатило // Сварочное производство. – 1999. – № 12. – С. 6–10.

49. Il'yaschenko, D.P., Chinakhov, D.A., Kirichenko, K.Y., Sydorets, V.N. Mathematical formula to determine geometrical dimensions of electrode metal droplets transferred with short circuits Materials Science Forum 2018 938, с. 1-6.
50. Шумкин В.И. К вопросу о порядке средней температуры стекающего в шов металла // Тр. ДВГТИ им.Куйбышева. – Владивосток, 1940. – Вып. 22.
51. Кульчицкий Л. О. Энергетичний баланс дуги при зварюванні металічними електродами. – Київ: АН УРСР, 1941.
52. Ерохин А. А. О температуре капель расплавленного электродного металла при дуговой сварке // Извести АН СССР, ОТН. – 1955. - № 9.
53. Ozawa V., Morita T. The measurement of heat quantity in melted metals // J/JWS. – 1963. – 32. № 2.
54. Акулов А. И. Некоторые энергетические параметры дуги в аргоне с плавящимся электродом // Автомат.сварка. – 1966. - № 7.
55. Походня И.К., Суптель А.М. Исследование процесса насыщения металла азотом при дуговой сварке // Сб. докл. Всесоюзн. конф. по электродному производству. – Киев: Наук.думка, 1966. – Т.1.
56. Pintard I. Contribution a l'etude du transfert de metal dans le soudage MIG // Soudage et Techniques connexes. – 1965. 19, № 7/8
57. И.К.Походня, В.Н.Горпенюк Температура капель электродного металла при дуговой сварке толстопокрытыми электродами «Металлургия дуговой сварки и сварочные материалы»/Составит.: И. К. Походня, А. С. Котельчук-К.: Академперіодика, 2012.
58. Макаренко, В.Д. Расчет кинетических характеристик электродных капель при их переходе через дуговой промежуток в процессе сварки покрытыми электродами / В. Д. Макаренко, С.П. Шатило // Сварочное производство. – 1999. – № 12. – С. 6–10.
59. Крампит, А.Г. Методика определения геометрических размеров и площади сварного шва / А. Г. Крампит, Н. Ю. Крампит // Сварочное производство. – 2012. – № 10 – С. 40–42.

60. Saraev Y. N., Il'yashchenko D. P., Krampit M. A., Semenchuk V. M., Nepomnyashchy A. S. Assessment of welding working properties of power supplies (Article number 012037) // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2020 - №. 681. - p. 2-6.

61. Свидетельство о регистрации программ для ЭВМ № 2015615010. Расчет тепловложения в каплю электродного металла при РДС / Д.П. Ильященко, Н. В. Павлов. – 06 мая 2015 г.

62. Кривоносов, Е.А. Влияние типа покрытия электрода на коррозионную стойкость металла шва стали 08X18H10T / Е.А. Кривоносов, Е.А. Синикина, А.И. Горчаков // Сварочное производство. – 2012. – № 4. – С. 38–42.

63. Ильященко, Д.П. Влияние типа источника питания на тепло- и массоперенос при ручной дуговой сварке / Д.П. Ильященко, Д.А. Чинахов // Сварка и диагностика. – 2010. – № 6. – С. 26–29.

64. Кривоносова, Е.А. Мультифрактальный анализ структурного состава зоны термического влияния сталей с карбонитридным упрочнением / О.А. Рудакова, Г.В. Встовский // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2010. – Т. 76, № 6. – С. 26–30.

65. Кривоносова, Е.А. Прогнозирование свойств металла сварных швов по результатам количественной параметризации структуры / Е.А. Кривоносова // Сварочное производство. – 2015. – № 6(967). – С. 3–6.

66. Predicting the properties of the metal of welded joints on the basis of the results of quantitative parametrisation of the structure / Е.А. Krivonosova // Welding International. – 2016. – Vol. 30, № 6. – P. 459–462.

67. Юшин, А.А. Разработка критериев оценки сварочных свойств установок для дуговой сварки с управляемым каплепереносом: дис. ... канд. техн. наук / Алексей Александрович Юшин. – Москва, 2012. – 165 с.

68. <http://uraltermosvar.ru/index.php?page=products&pid=100507>

69. https://energybase.ru/tariff/langepas/2019?TariffSearch%5Btype_id%5D=1

70. Федько, В.Т. Теория, технология и средства снижения

набрызгивания и трудоемкости при сварке в углекислом газе / В.Т. Федько. – Томск : Томский государственный университет, 1998. – 432 с.

71. 12.1.030-81. ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление. // [Электронный ресурс]. - Режим доступа:

http://www.rosteplo.ru/Npb_files/npb_shablon.php?id=663

72. ГОСТ 12.1.003-83. Шум. Общие требования безопасности // [Электронный ресурс]. - Режим доступа:

http://www.rosteplo.ru/Npb_files/npb_shablon.php?id=838

73. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования // [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.rosteplo.ru/Npb_files/npb_shablon.php?id=666

74. ГОСТ 12.0.003-74 / Опасные и вредные производственные факторы // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.infosait.ru/norma_doc/4/4650/index.htm

75. СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение // [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.vashdom.ru/snip/2305-95/>

76. Расчеты по обеспечению комфорта и безопасности: учебное пособие. В.М. Гришагин, В.Я. Фарберов – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2007. – 155 с.

77. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений застройки // [Электронный ресурс]. - Режим доступа <http://www.ntm.ru/control/37/6956>

78. ГОСТ 12.3.003-75 «Работы электросварочные. Общие требования безопасности» // [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://delta-grup.ru/bibliot/97/162.htm>

79. Реферат: Обеспечение комфортности жизнедеятельности людей, как способ повышения уровня их защищенности // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://works.tarefer.ru/9/100082/index.html>

Таблица А.1 – Результаты статической обработки параметров переноса капель
электродного металла электродами УОНИ-13/мороз

Номер замера	Диодный выпрямитель		Инвертор 1	
	Длительность КЗ дугового промежутка тк.з., мс	Длительность цикла Тк.з., мс	Длительность КЗ дугового промежутка тк.з., мс	Длительность цикла Тк.з., мс
1	13,071	93,733	4,53	181,91
2	12,698	133,700	5,861	123,46
3	4,482	163,577	11,721	189,05
4	4,855	174,781	8,5	177,91
5	13,445	24,775	6,428	187,16
6	5,229	71,332	3,4	127,8
7	6,349	180,01	5,1	91,881
8	7,843	217,356	9,45	125,12
9	8,216	184,865	6,42	115,7
10	5,229	79,921	6,42	189,43
11	6,602	187,106	6,43	26,5
12	5,602	178,143	5,67	122,28
13	9,337	177,022	6,625	136,31
14	5,229	44,442	3,78	120,33
15	7,843	213,248	3,02	92,37
Среднее значения, мс	7,73	141,60	6,22	133,81
Среднеквадратичное отклонение, мс	3,09	62,47	2,31	45,59
K_V , %	39,99	44,12	37,16	34,08

Таблица А.2 – Результаты статической обработки параметров переноса капель электродного металла электродами УОНИ-13/мороз

Номер замера	Инвертор 2		Инвертор 3	
	Длительность КЗ дугового промежутка тк.з., мс	Длительность цикла Тк.з., мс	Длительность КЗ дугового промежутка тк.з., мс	Длительность цикла Тк.з., мс
1	18,82	165,24	11,85	20,533
2	10,11	64,49	8,01	211,26
3	8,36	212,66	8,36	224,86
4	17,3	162,98	3,48	169,43
5	10,45	237,06	6,62	85,06
6	5,22	176,92	4,53	191,39
7	10,8	73,9	15,33	214,05
8	6,1	295,45	9,76	163,5
9	7,67	129,33	9,06	186,86
10	14,81	305,04	4,53	71,81
11	4,88	141,89	13,59	101,45
12	10,45	129,33	6,27	218,23
13	4,53	147,46	17,08	213,7
14	6,27	153,04	4,88	127,94
15	8,36	155,13	13,94	174,312
Среднее значения, мс	9,87	169,99	7,88	131,62
Среднеквадратичное отклонение, мс	4,31	68,60	2,85	51,81
KV, %	43,64	40,35	36,25	39,37

Таблица Б.1 – Характеристики параметров сварочного тока между электродом и изделием (электрод УОНИ-13/мороз, сталь 09Г2С)

Номер замера	Диодный выпрямитель		Инвертор 1		Инвертор 2		Инвертор 3	
	I_{\max} , А	I_{\min} , А	I_{\max} , А	I_{\min} , А	I_{\max} , А	I_{\min} , А	I_{\max} , А	I_{\min} , А
1	128	73,4	106	82,1	139	32,2	97,4	74,9
2	126	75,5	106	81,3	141	28,1	98,5	78,7
3	122	71,8	106	82,1	139	32,2	95,1	80,1
4	127	71,6	106	81,3	150	28,8	95,1	80,1
5	129	57,1	106	81,7	141	29,6	94,4	76,8
6	110	58,9	106	83,4	144	39,3	97,4	80,5
7	128	68,9	106	84,7	144	24,7	94,8	81,3
8	117	52,7	107	81,3	140	21,7	97,8	79,8
9	129	57,7	106	82,1	138	35,7	100	80,5
10	116	56	106	85,1	141	24,7	97	77,2
11	129	63,5	107	82,6	141	42,7	96,6	80,5
12	127	71	106	83,4	140	29,2	97,4	77,2
13	119	55,2	106	82,1	131	51,3	96,6	83,5
14	133	66,8	107	86,8	143	34,5	95,5	76,4
15	128	62,2	105	84,3	142	37,1	96,6	75,3
Среднее значение, А	124,5	64,15	106,13	82,95	140,9	31,45	96,68	78,85
σ , А	6,32	7,59	0,52	1,63	3,99	5,741	1,52	2,45
K_V , %	5,08	11,82	0,48	1,97	2,83	18,25	1,57	3,10

Приложение В

Таблица В.1 – Характеристики напряжения между электродом и изделием (электрод УОНИ-13/мороз, сталь 09Г2С)

Марка электродов	Источник питания							
	Диодный выпрямитель				Инвертор 1			
	U ₁ ,В	U ₂ ,В	U ₃ ,В	U ₄ ,В	U ₁ ,В	U ₂ ,В	U ₃ ,В	U ₄ ,В
1.	20,5	15,4	1,041	22,2	20,9	17	1,28	26,2
2.	20,1	12,9	0,83	22,6	24,3	18,7	1,49	31,5
3.	19,1	14	1,45	23,9	25,7	17,4	1,28	26,4
4.	19,9	16,4	1,04	20,05	20	15,5	1,43	28,9
5.	21,8	14,7	1,45	22	18,3	14,5	1,91	30
6.	18,5	13,5	1,24	21,8	21,7	17,9	1,49	23,2
7.	24,5	18,7	1,04	23,9	21,5	17	1,49	21,7
8.	22,8	17	1,45	23,9	24,3	17,9	1,28	23,4
9.	20,3	17	1,45	21	21,1	16,6	1,49	31,7
10.	20,5	14,7	1,45	22,4	20,4	17,9	1,06	22,3
11.	21,2	16,8	1,24	23,4	21,3	18,3	1,06	25,5
12.	19,5	15,1	1,24	22,8	19,1	15,5	1,28	24,3
13.	20,3	15,1	1,24	22,2	27,9	18,3	1,70	25,5
14.	24,7	17,8	1,24	21,0	21,7	17,2	1,49	18,9
15.	20,3	14,4	1,45	24,1	23,2	14,7	1,28	26,2
Среднее значение, В	20,93	15,57	1,26	22,48	22,09	16,96	1,40	25,71
σ, В	1,81	1,65	0,19	1,22	2,56	1,34	0,22	3,65
K _V , %	8,65	10,62	15,74	5,42	11,60	7,89	15,90	14,20

Таблица В.2 – Характеристики напряжения между электродом и изделием (электрод УОНИ-13/мороз, сталь 09Г2С)

Марка электродов	Источник питания							
	Инверторный выпрямитель 2				Инверторный выпрямитель 3			
	U ₁ ,В	U ₂ ,В	U ₃ ,В	U ₄ ,В	U ₁ ,В	U ₂ ,В	U ₃ ,В	U ₄ ,В
1.	21	17,2	1,5	22,3	21,2	15,9	1,5	24,3
2.	20,6	17,8	1,69	32,2	22,3	16,1	1,12	24,2
3.	19,5	17,4	1,69	23,6	19,5	16,3	1,12	24,9
4.	23,2	17,2	1,31	28,3	21,5	17,6	1,50	21,7
5.	22,1	17	105	21,2	20	15,9	1,31	29,8
6.	19,5	15,4	105	23,6	23,8	17,8	1,31	21,5
7.	19,5	16,3	1,31	24	23,6	19,1	1,69	24,7
8.	23,2	14,8	1,12	33	21,9	18,7	1,31	23,2
9.	22,1	18,2	1,31	24,2	20,4	18	1,69	22,5
10.	24,3	17	1,31	24,5	22,3	18,9	1,5	21,3
11.	24,5	17,8	1,5	23	20,6	17,4	1,5	22,3
12.	22,5	17,2	1,31	29,2	21,3	15,2	1,69	24,5
13.	21,9	17,6	1,87	21,3	19,1	16,5	1,5	25,7
14.	21	16,3	1,69	22,1	22,5	18,7	1,31	28,7
15.	21,9	16,5	1,87	21,5	20,2	16,9	0,9	23,6
Среднее значение, В	21,77	16,94	16,25	25,17	21,42	17,29	1,43	24,23
σ, В	1,68	0,94	37,5	3,89	1,42	1,29	0,19	2,54
KV, %	7,71	5,59	231,2	15,48	6,62	7,51	13,37	10,49

Таблица Г.1 – Среднестатистические расчетные данные массы и радиуса переносимых капель электродного металла (электрод УОНИ-13/мороз, сталь 09Г2С)

Номер замера	Диодный выпрямитель			Инвертор 1		
	Длительность ь КЗ дугового промежутка $\tau_{к.з.}$, мс	Масса капли m , г	Радиус капли, мм	Длительность ь КЗ дугового промежутка $\tau_{к.з.}$, мс	Масса капли m , г	Радиус капли, мм
1	13,071	0,072	1,63	4,53	0,003	0,56
2	12,698	0,067	1,59	5,861	0,006	0,74
3	4,482	0,003	0,55	11,721	0,05	1,47
4	4,855	0,0036	0,60	8,5	0,02	1,07
5	13,445	0,079	1,68	6,428	0,009	0,80
6	5,229	0,0046	0,65	3,4	0,001	0,42
7	6,349	0,0087	0,80	5,1	0,004	0,64
8	7,843	0,0157	0,98	9,45	0,02	1,18
9	8,216	0,018	1,03	6,42	0,009	0,80
10	5,229	0,046	0,65	6,42	0,009	0,80
11	6,602	0,0095	0,83	6,43	0,009	0,80
12	5,602	0,0058	0,70	5,67	0,006	0,71
13	9,337	0,026	1,17	6,625	0,009	0,83
14	5,229	0,0046	0,65	3,78	0,002	0,47
15	7,843	0,015	0,98	3,02	0,0009	0,37
Среднее значение	7,73	0,025233	0,966	6,22	0,010527	0,777333
σ	3,09	0,027011	0,388179	2,31	0,01238	0,291853

Таблица Г.1 – Среднестатистические расчетные данные массы и радиуса переносимых капель электродного металла (электрод УОНИ 13/Мороз)

Номер замера	Инвертор 3			Инвертор 4		
	Длительность в КЗ дугового промежутка $\tau_{к.з.}$, мс	Масса капли m , г	Радиус капли, мм	Длительность в КЗ дугового промежутка $\tau_{к.з.}$, мс	Масса капли m , г	Радиус капли, мм
1	18,82	0,21	2,36	11,85	0,05	1,48
2	10,11	0,03	1,25	8,01	0,016	1,007
3	8,36	0,02	1,05	8,36	0,019	1,05
4	17,3	0,17	2,17	3,48	0,0014	0,44
5	10,45	0,03	1,3	6,62	0,009	0,83
6	5,22	0,005	0,6	4,53	0,003	0,5
7	10,8	0,04	1,3	15,33	0,11	1,92
8	6,1	0,007	0,7	9,76	0,03	1,23
9	7,67	0,015	0,9	9,06	0,02	1,14
10	14,81	0,107	1,8	4,53	0,003	0,56
11	4,88	0,004	0,61	13,59	0,08	1,17
12	10,45	0,04	1,3	6,27	0,008	0,79
13	4,53	0,003	0,56	17,08	0,16	2,1
14	6,27	0,008	0,79	4,88	0,004	0,6
15	8,36	0,02	1,05	13,94	0,08	1,7
Средне е значени е	9,87	0,047267	1,182667	7,88	0,03956	1,101133
σ	4,31	0,063878	0,557116	2,85	0,047527	0,515304

Таблица Д.1 – Статистически обработанные экспериментальные данные размеров макрошлифов (электрод УОНИ-13/мороз, сталь 09Г2С)

Номер замера	Источник питания							
	Диодный выпрямитель				Инверторный выпрямитель			
	Наплавленный металл		ЗТВ		Наплавленный металл		ЗТВ	
	Площадь , мм ²	Ширин а, мм	Площадь, мм ²	Ширин а, мм	Площадь, мм ²	Ширина , мм	Площадь, мм ²	Ширина, мм
1.	138	4,09	91	5,15	130	3,99	76	3,38
2.	125	4,07	94	5,16	131	3,9	78	3,34
3.	133	4,06	99	5,14	127	4,05	83	3,32
4.	128	4,02	91	5,17	132	3,97	79	3,34
5.	137	4,06	93	5,14	126	4,03	85	3,32
6.	135	4,1	95	5,16	131	3,98	83	3,33
7.	140	4,07	98	5,18	127	4,04	76	3,38
8.	138	4	99	5,17	130	4,02	79	3,38
9.	138	4	98	5,19	132	4,02	83	3,37
10.	134	4	93	5,14	126	4,02	81	3,3
11.	126	4,09	98	5,21	126	4,02	79	3,3
12.	125	4,04	96	5,18	125	4,01	81	3,34
13.	136	4,09	99	5,13	127	3,96	85	3,32
14.	133	4,09	93	5,14	133	4,05	77	3,37
15.	126	4,03	98	5,2	128	4,05	81	3,35
16.	140	4,1	95	5,1	127	3,96	83	3,32
17.	135	4,09	96	5,3	130	3,97	82	3,33
18.	135	4,02	100	5,2	132	3,95	81	3,29
19.	130	4,09	94	5,21	132	4,01	77	3,36
20.	128	4,09	90	5,13	128	4	81	3,36
Среднее значение , мм	133	4,06	95,5	5,17	129	4	80,5	3,34
σ, мм	5,1	0,04	2,9	0,04	2,6	0,04	2,78	0,03
K _V , %	3,8	0,98	3	0,77	2	1	3,5	0,89

Презентация



Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)
Юргинский технологический институт (филиал) федерального государственного
автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ЮТИ ТПУ)

Направление подготовки 15.01.03 «Машиностроение», профиль «Оборудование и технология сварочного производства»

Исследование стабильности плавления и переноса электродного металла при РДС покрытыми электродами УОНИ-13/Мороз

Автор: студент гр. 3-10А51

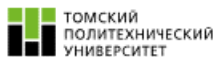
Е.А. Кононенко

Руководитель:
к.т.н., доцент

Д.П. Ильященко

г. Юрга 2020 г.

Слайд № 2



Актуальность работы

«Наша страна находится в таких климатических условиях, что могут быть резкие перепады температур до минус 40 — минус 70 градусов, таким образом, тема хладостойкости сварных соединений актуальна. Самое главное — улучшение ударной вязкости (способность металла сопротивляться ударным нагрузкам).

На сегодняшний момент существует огромное количество сварочного оборудования и материалов (один из них покрытые электроды УОНИ 13/Мороз) предназначенных для выполнения сварочных работ условиях низких температур и гарантирующие получения наплавленного металла, обладающего высокими пластическими свойствами.

Авторы: Макаренко В.Д, Горпенюк В.Н. в своих работах установили взаимосвязь между снижением размера переносимых капель электродного металла и бездефектному получению швов, повышению пластичности, а именно ударной вязкости при низких температурах.

Докладчик: Кононенко Е.А.

Цель и задачи исследований

Цель работы:

Исследовать стабильность плавления и переноса электродного металла при РДС покрытыми электродами Уони 13/Мороз.

Задачи:

- Определить параметры характеризующие стабильность процесса сварки;
- Провести эксперименты для получения первичных данных о стабильности процесса сварки при РДС покрытыми электродами Уони 13/Мороз;
- Провести теоретические расчеты для переносимых капель расплавленного электродного металла: геометрических параметров, теплосодержания и т.д.

Докладчик: Коновенко Е.А.

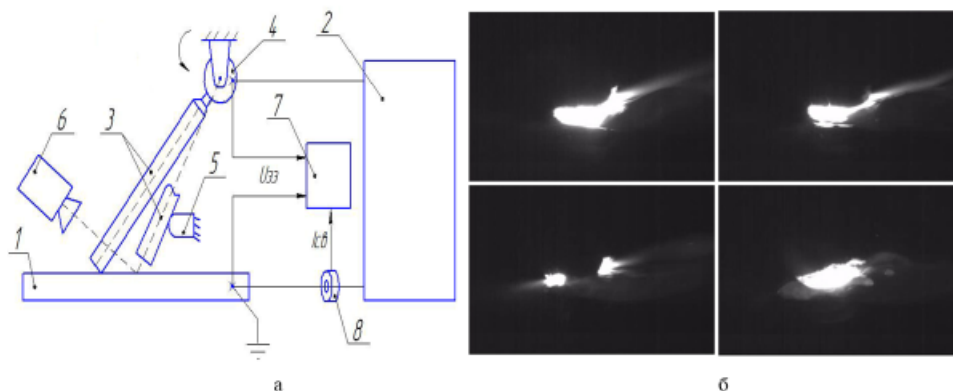
Стабильный процесс сварки

- Походня И.К., Заруба И.И. под термином «стабильный процесс сварки», понимают: «... процесс, обеспечивающий получение качественно сформированного сварного соединения с достаточно гладкой поверхностью и практически неизменными по всей длине основными параметрами — глубиной провара, шириной и высотой валика».
- Ленинкин В.А., под «стабильностью» понимает: «...Стабильным процессом дуговой сварки принято считать процесс, обеспечивающий постоянство геометрических размеров сварного шва или отклонение последних в допустимых пределах».
- В.В. Смирнов под стабильностью технологического процесса обычно понимают: «... свойство последнего, обуславливающего постоянство распределения вероятностей для его параметров в течение некоторого интервала времени без вмешательства извне ».
- Ю.Н. Ланкин, под стабильностью процесса дуговой сварки понимает: «Процесс сварки, отклонение параметров которого от средних значений не превышает заданного уровня, называется стабильным. Мерой стабильности является отклонение от параметра среднего значения.

4

Экспериментальная установка для высокоскоростной съемки и осциллографирования процесса сварки

Слайд № 5



а - схема установки; б - кинограммы процесса сварки; 1 – металлическая пластина; 2 – источник питания; 3 – покрытый электрод; 4 – вращающийся держатель электрода; 5 – ограничитель перемещения электрода; 6 – цифровая высокоскоростная видеокамера; 7 – электронный осциллограф; 8 – датчик тока

Докладчик: Кононенко Е. А.

Источники питания, используемые при проведении эксперимента

Слайд № 6



а – ВД-306; б – УРАЛ Мастер СЕВЕР; в – Ресанта САИ 250 ПРОФ;

г – Fubag INTIG 200 SYN PLUS

Докладчик: Кононенко Е. А.

Основные параметры для оценки стабильности теплопереноса при дуговой сварке плавящимся электродом.

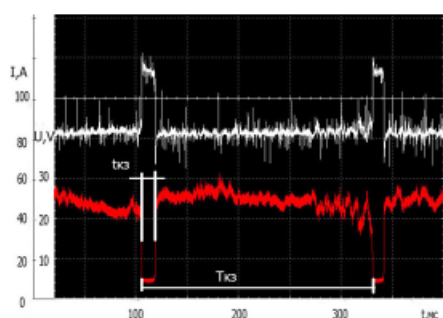


Схема определения параметров каплепереноса электродного металла: $T_{кз}$ – длительность короткого замыкания дугового промежутка, мс; $T_{кз}$ – длительность цикла – период образования и переноса капли, мс

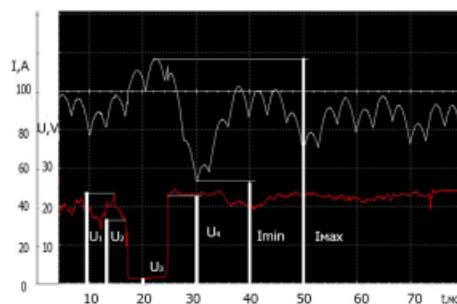
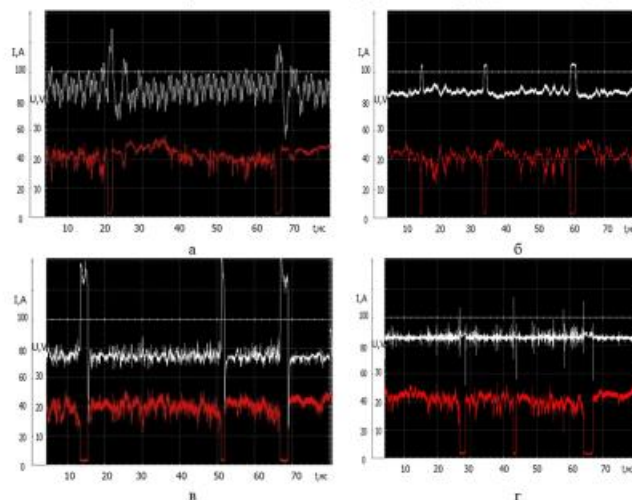


Схема определения амплитудных значений параметров режима сварки: I_{max} – максимальное значение тока при КЗ, А; I_{min} – максимальное значение тока при КЗ, А; U_1 – напряжение перед зарождением капли, В; U_2 – напряжение перед КЗ, В; U_3 – напряжение в момент КЗ, В; U_4 – напряжение после КЗ, В

Докладчик: Кононенко Е. А.

Осциллограммы тока в сварочной цепи и напряжения между электродом и изделием

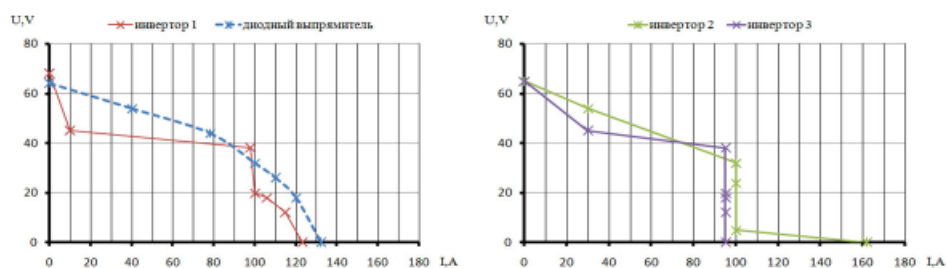
Слайд № 8



Осциллограммы тока в сварочной цепи и напряжения между электродом и изделием (электроды марки уони 13/Мороз, диаметром 3 мм): а – диодный выпрямитель; б – инвертор 1; в – инвертор 2; г – инвертор 3

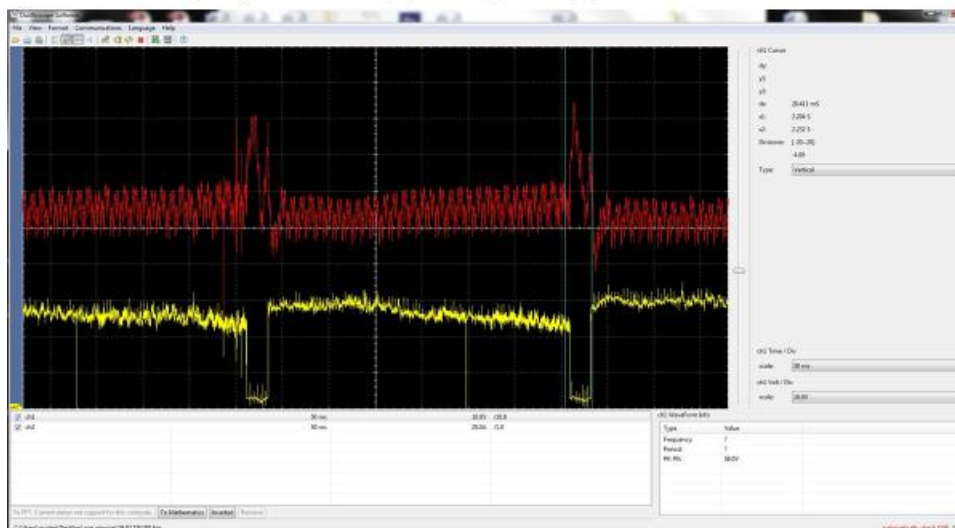
Докладчик: Кононенко Е. А.

Внешние характеристики источников питания



Докладчик: Кононенко Е. А.

Обработка осциллограмм тока в сварочной цепи и напряжения между электродом и изделием. Программа DS_Wave_DSO_1.3.6.v20170826



Результаты обработанных осциллограмм тока в сварочной цепи и напряжения

Параметры режимов экспериментальной наплавки

Источник питания	Марка электродов	Средние значения параметров режима наплавки, записанные с применением осциллографа АКИП-4122/10
Диодный выпрямитель	Уони 13/Мороз	$I_{св.ср.} = (87,9 \pm 2,7) \text{ A}$; $U_{св.ср.} = (20,5 \pm 0,4) \text{ В}$; $V_{св.ср.} = 0,25 \text{ m/min}$
Инвертор 1		$I_{св.ср.} = (86,3 \pm 2,7) \text{ A}$; $U_{св.ср.} = (21,9 \pm 0,7) \text{ В}$; $V_{св.ср.} = 0,25 \text{ m/min}$
Инвертор 2		$I_{св.ср.} = (84,8 \pm 3,1) \text{ A}$; $U_{св.ср.} = (19,8 \pm 0,3) \text{ В}$; $V_{св.ср.} = 0,25 \text{ m/min}$
Инвертор 3		$I_{св.ср.} = (85,8 \pm 2,4) \text{ A}$; $U_{св.ср.} = (20,8 \pm 0,4) \text{ В}$; $V_{св.ср.} = 0,25 \text{ m/min}$

Результаты статистической обработки осциллограмм тока и напряжения

Тип источника питания	Определяемый параметр				
	$T_{ис, мс} \pm \sigma_{ис}, мс$	$T_{ис, мс} \pm \sigma_{ис}, мс$	$I_{ис}, \text{ A}$	$I_{ис}, \text{ A}$	$\frac{I_{св.ср.}}{I_{ис}} \rightarrow 1$
Диодный выпрямитель	7,73±3,09	141,6±62,47	124,53±6,32	64,15±7,5	0,71
Инвертор 1	6,22±2,31	133,8±45,59	106,13±0,51	82,95±1,6	0,81
Инвертор 2	9,87±4,31	169,99±68,6	140,93±3,99	31,45±5,7	0,6
Инвертор 3	7,88±2,85	131,62±51,81	96,68±1,52	78,85±2,4	0,88

Окно программы для ЭВМ

«Расчет тепловложения в Каплю электродного металла при РДС»

Расчет параметров РДС

Создать Выход

Расчет режимов сварки

Толщина металла, мм

Тип шва

☐ Угловое, нахлесточное, тавровое

☐ Стыковое, без разделки кромок

☐ Стыковое, без разделки кромок (+подварочный шов)

☐ Стыковое, с разделкой кромок

☐ Стыковое, с разделкой кромок (+подварочный шов)

Положение шва

☐ Наклон или "подложка"

☐ Вертикальное

☐ Горизонтальное

☐ Потолочное

Тип покрытия

☐ Основной

☐ Рутиловый

Расчет

Выходные данные

Диаметр электрода, мм

Сила сварочного тока, А

Напряжение, В

Общее кол-во проходов, шт.

Скорость сварки, мм/с

Расчет тепловложения в каплю электродного металла

102 Сила сварочного тока, А

23 Напряжение, В

0,039 Времени пребывания капли на торце электрода, с

Расчет

Выходные данные

3,6517 Активная поверхность капли

0,8048 Масса переходящих капель

2346 Тепловая мощность дуги на торце электрода, Дж

693,0182 Тепловложение в каплю, К

Свидетельство о регистрации программ для ЭВМ № 2015615010. Расчет тепловложения в каплю электродного металла при РДС / Д.П. Ильященко, Н.В. Павлов. – 06 мая 2015 г.

Докладчик: Кононенко Е. А.

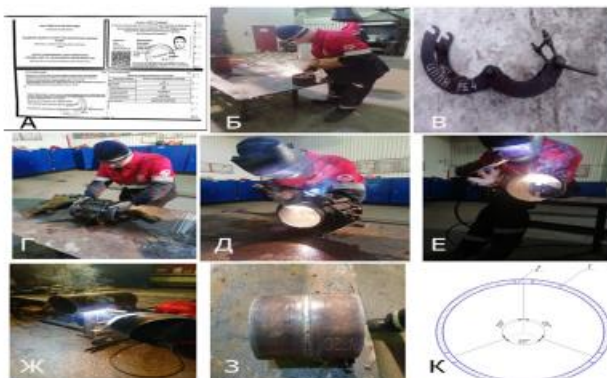
Среднестатистические расчетные данные массы и активной поверхности переносимых капель электродного металла

Методика расчета	Марка электродов, источник питания	тк.з., 10^{-3} с	Масса капли m , г	Площадь поверхности капли (активная поверхность) S , мм ²
Полученные расчетным путем	Диодный выпрямитель	7,73±3,09	0,025±0,001	0,96±0,34
	Инвертор 1	6,22±2,31	0,011±0,004	0,77±0,28
Полученные по предложенной методике	Диодный выпрямитель	7,73±3,09	0,0264±0,05	0,99±0,3
	Инвертор 1	6,22±2,31	0,017±0,001	0,84±0,28

Температура перегрева капель электродного металла

Тип источника питания – выпрямитель	Марка электродов	$\tau_{к.л.}$, 10^{-3} с	$\Delta T_{к.ср.д.к.}$, °C
Диодный	УОНИ 13/Мороз	7,73±3,09	845±35
Инвертор 1		6,22±2,31	424±20

Этапы подготовки - макрошлифов



а – квалификационное удостоверение НАКС сварщика; б – подготовка кромок под сварку; в – внешний вид центратора; г – сборка сварного соединения в центраторе; д – выполнение прихваток; е – сварка корневого шва; ж – сварка заполняющего и облицовочного шва; з – внешний вид заваренных катушек; к – схема вырезки образцов из трубы (материал 09Г2С) для проведения механических испытаний: 1 – изделие; 2 – вырезанный образец

Экспериментальные данные обработки макрошлифов

Сталь	Тип соединения по ГОСТ	Источник питания – выпрямитель	Площадь наплавленного металла, мм ²	Ширина наплавленного металла, мм	Площадь ЗТВ, мм ²	Ширина ЗТВ, мм
09Г2С	С17 толщина 6 мм	Диодный	23,6±0,4	3,33±2,6	51,8±0,53	2,08±0,06
		Инвертор 1	21,4±0,3	2,89±0,94	42,6±0,28	1,58±0,04

Выводы

- 1 Анализ литературных источников позволил установить, что параметры режимов сварки плавящимся электродом, такие как длительность короткого замыкания дугового промежутка ($T_{к.з.}$, мс), длительность цикла – период образования и переноса капли ($T_{к.з.}$, мс), значения тока (максимальное – $I_{тах}$ и минимальное $I_{тиг}$ А); скорость нарастания тока ($V_{нарастания}$ $I_{св}$ и $V_{спада}$ $I_{св}$, А/с), являются основными для оценки стабильности тепломассопереноса при дуговой сварке плавящимся электродом.
- 2 Повысить стабильность процесса РДС покрытыми электродами марки УОНИ13/Мороз, можно используя источники питания с высоким динамическими свойствами:
- параметров каплепереноса электродного металла с поверхности электрода: наибольшее время длительности короткого замыкания дугового промежутка переходящей каплей с поверхности электрода в сварочную ванну обеспечивает инвертор 4 ($T_{к.з.}=7,88\pm2,85$ мс), а наименьшее инвертор 1 ($T_{к.з.}=6,22\pm2,31$ мс).
 - амплитуды максимального и минимального значений сварочного тока: наименьшее значение амплитуды тока при К.З. позволяет обеспечить инвертор 3 – 18 А, наибольшее значение тока - инвертор 2 - 109 А.

Докладчик: Кононенко Е. А.

Благодарю за внимание!

Докладчик: Кононенко Е. А.